Entreposage frigorifique des pommes et des poires

tome 1 : équipement

Ctifl

Les éditions du Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes

Avec nos “prêts à produire”, vous récolterez très vite les fruits de vos investissements.

Comme nous avons le souci de vous faire gagner du temps
mais aussi de l'argent, nous vous proposons depuis plusieurs années des arbres
“préformés” en pépinières, “prêts à produire” dès la première et la deuxième année.
En scion d'un an et deux ans, nos productions s'adaptent à tous les systèmes
de conduite actuels : axe vertical, solen ou super fuseau.
En faisant confiance à la compétence du numéro 1 de la pépinière,
vous mettez toutes les chances de votre côté... Parce qu'investir dans les “prêts à produire”,
c'est choisir d'en récolter plus vite les fruits !

DAVODEAU LIGONNIERE

Pépiniéristes

75, avenue Jean-Joxé - 49100 ANGERS
Tél. 41 43 77 77 - Fax 41 60 06 13 - Télex 720 887 F

NOUVELLE VAGUE

Entreposage frigorifique des pommes et des poires

Tome 1
Equipement

Entreposage frigorifique des pommes et des poires - Tome 1 - Equipement

ISBN 2-87911-020-3 **Novembre 1992**

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les Articles 425 et suivants du code Pénal.

Ctifl

Entreposage frigorifique des pommes et des poires
Tome 1 : «Equipement»

Réalisation

Jean Paul Coquinot — ***Ctifl*** - La Morinière
Jean François Chapon — ***Ctifl***

Avec la participation de

Jean Marc Jourdain — ***Ctifl***
Philippe Moras — ***Ctifl***
Charles Fontanel — Expert Frigoriste

Et le concours de

P. Bony (***Ctifl***) - J. Boutrole (*Stanor*) - M. Ferrandon (***Ctifl***-*CEFEL*) - C. Jacquet (*Arboriculteur*) - P. Plassart (*Arboriculteur*) - G. Planton (***Ctifl***) - L. Richard (*La Morinière*) - M. Trillot (***Ctifl***-*La Morinière*) - P. Vaysse (***Ctifl***-*CIREA*) - P. Westercamp (*CACG-CEFEL*)

Contribution rédactionnelle de Jean Harzig

Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes
22, rue Bergère - 75009 Paris - Tél. (1) 47 70 16 93

PREFACE

La qualité des fruits qui arrivent chez le consommateur est devenue incontestablement depuis une dizaine d'années la première préoccupation des producteurs. Cette qualité ce construit au verger, dans les conditions des différentes régions de production. La diversité des climats, des terroirs, la palette de variétés de pommes et de poires, font toute la richesse et toute la saveur des fruits de FRANCE. Cette qualité est en fin de compte le résultat du savoir-faire des producteurs.
Il nous faut veiller à préserver cette qualité après le verger, dans les entrepôts frigorifiques, par des techniques naturelles élaborées. Ceci doit nous permettre d'obtenir une bonne sécurité au cours des transactions commerciales et une bonne évolution du produit dans les circuits de distribution.
Au stade de la conservation, le maintien de la qualité dépend :
- des investissements consentis,
- des installations réalisées,
- de la technicité du personnel des stations fruitières.

Le parc français des entrepôts frigorifiques est en cours de rénovation. Cette rénovation est nécessaire pour la mise à niveau de chambres froides qui ont parfois plus de 20 ans. Au cours de ces dernières années, un palier technique a été franchi. Le ***Ctifl*** nous propose dans cette brochure un nouveau schéma pour les stations fruitières. Le ***Ctifl*** (Centre de Technologie de St-Rémy-de-Provence) et les stations régionales (CEFEL et LA MORINIERE) travaillent en réseaux pour nous proposer une information technique de pointe. Il faut espérer que les conditions économiques nous permettent, dans les années qui viennent, de réaliser des investissements de qualité aussi bien en matière d'équipement que de formation des hommes.

Marcel FONT
Administrateur du ***Ctifl***
Président du ***CEFEL***

Avertissement au lecteur

De par sa nature, le sujet traité dans cette brochure a nécessité l'emploi d'un vocabulaire spécialisé, qui peut parfois gêner la compréhension intuitive du texte. Le lecteur intéressé par les justifications théoriques et les calculs associés à nos exemples pourra utilement se référer aux ouvrages de base cités en tête de la bibliographie. L'application des techniques de conservation, présentées dans l'ouvrage, aux principales variétés de pommes et de poires est présentée dans le tome 2.

Le lecteur peut aborder la lecture sous plusieurs angles :

La recherche rapide d'une information pourra être réalisée par la lecture du sommaire et des résumés situés en tête des paragraphes clés.

Un fil rouge décrit les choix effectués pour la mise en oeuvre du projet de construction d'une chambre froide de 200 tonnes. Il est repéré dans l'ouvrage par la couleur du texte et le signe triangulaire.

Les rappels théoriques indispensables, les calculs, les exemples sont détachés du texte par un encadrement.

Enfin, le lecteur notera que les techniques de conservation, domaine industriel de premier plan, intéressant de nombreux secteurs d'activité, sont en continuelle évolution. Les éléments qu'il trouvera dans cet ouvrage doivent être complétés par des visites de salons spécialisés, la visite d'installations récemment construites afin que le projet d'investissement aboutisse à une réalisation de qualité.

Un glossaire des termes techniques peut être consulté en fin d'ouvrage.

Abstract

Cold Storage of apple and pears
Volume 1 : «Equipment»

This publication covers the latest developments in storage fittings, as result of the work conducted in France by ***Ctifl*** and Regional Experimental Stations.

The major part of cold storage rooms in France are now 20 to 30 years old. In most cases, replacement or renovation has to be considered by the management. This book covers all the aspects of driving a project for a construction of a new plant...

- The project ; conceiving the fruit storage station, planning the project, contracts, comparing offers...
- Insulation ; choosing materials for insulation and vapour barrier, link between floor and walls...
- Cold production and transport ; choice of compressors, condensers and evaporators.
- Controlled atmosphere ; tests for tightness, rapid C.A., ULO, control and regulation of gas level...

Finally the reader will find an example of a detailed estimate of the work necessary for the construction of a middle size 3-room station.

Technical points are discussed from a practical point of view, using simple words. Summaries at the beginning of the chapters allow fast reading. More than 50 pictures and 40 figures present all the aspects of a modern cold storage room for fruit.

Tome 2 à paraître

CONDUITE DE L'ENTREPOSAGE

TECHNIQUES DE CONSERVATION DES POMMES ET DES POIRES

Le développement de techniques nouvelles, mais aussi une meilleure connaissance de la physiologie du fruit, a conduit vers une évolution des techniques de conservation des pommes et des poires. Cette évolution récente est issue en partie de l'attente plus grande du consommateur en matière de qualité. Nous avons reconsidéré un certain nombre d'acquis en matière de conduite de l'entreposage.
Le tome 2 de la brochure ***Ctifl*** *"Entreposage frigorifique des pommes et des poires"* fait le point sur les acquis récents en matière de conduite de la conservation. Sont ainsi abordés, d'un point de vue pratique :
- La connaissance du fruit : influences agroclimatiques, physiologie de la maturité, tests de récolte.
- L'entreposage au froid : conditions de mise au froid et de conservation, entreposage en atmosphère contrôlée, basse tension en oxygène.
- Les maladies d'entreposage : moyens de lutte, relations avec les facteurs du verger et les techniques de conservation.
- Retour aux conditions ambiantes et maturation complémentaire.

Enfin une large place est réservée aux conditions recommandées pour l'entreposage au froid ou en atmosphère contrôlée des principales variétés de pommes et de poires actuellement cultivées.

Sommaire

Préface 5

AVERTISSEMENT AU LECTEUR ... 6
ABSTRACT ... 7
TOME 2 À PARAITRE ... 8

1 Projet d'entrepôt frigorifique 13

CONCEPTION DE LA STATION FRUITIERE ... 14
• Plan de masse, dispositions générales ... 14
• Capacité de stockage, dimension des locaux frigorifiques ... 16
L'ORGANISATION DU PROJET ... 19
• Le plan général de l'organisation ... 20
• Les documents du projet ... 21
• Le suivi des travaux ... 24
• Les litiges ... 25
• Points particuliers ... 26
• La rénovation ... 28
LES FACTEURS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LA CHAMBRE FROIDE ... 30
• La température ... 30
• L'humidité relative ... 31
• La vitesse de l'air et la composition de l'atmosphère ... 34

2 L'isolation 37

LA BARRIERE DE VAPEUR ... 39
• Les migrations de vapeur d'eau ... 39
• Les matériaux pour barrière de vapeur ... 41
LES MATERIAUX ISOLANTS ... 42
• La qualité des matériaux isolants ... 43
• Le polystyrène expansé ... 44
• Les mousses rigides de polyuréthanne ... 46
MISE EN ŒUVRE DE L'ISOLATION ... 46
• L'isolation traditionnelle ... 47
• L'isolation intégrée ... 48
• L'isolation du sol ... 55
• L'isolation des circuits frigorifiques ... 56
• Menuiseries ... 57

3 La production de froid 59

PRINCIPE DE PRODUCTION DE FROID ... 59
LA MACHINE FRIGORIFIQUE ... 61
• Les éléments constitutifs ... 61
• L'évolution du fluide frigorifique ... 62

LES FLUIDES FRIGORIGENES ... 62
• Critères techniques ... 63
• Critères économiques ... 64
• Critères de sécurité ... 65
LES FLUIDES FRIGOPORTEURS ... 68
LES SYSTEMES DE REFRIGERATION ... 68
COMPRESSEURS ... 70
• Généralités ... 70
• Compresseurs à pistons ... 71
• Compresseurs à vis ... 73
• Comparaison pistons et vis ... 75
CONDENSEURS ... 76
• Fonctionnement ... 76
• La classification des condenseurs est la suivante : ... 77
• Les condenseurs à air ... 78
• Les condenseurs à eau ... 79
• Le condenseur évaporatif ... 79
LES ÉVAPORATEURS ... 80
• Les évaporateurs refroidisseurs d'air ou aérofrigorifères ... 81
• Les évaporateurs refroidisseurs de liquide ... 84
• L'alimentation des évaporateurs ... 85
• Le dégivrage ... 95
• Equilibre évaporateur/compresseur ... 97
• Ventilation ... 98
TUYAUTERIES ... 99

4 Atmosphère contrôlée 103

LA BARRIERE D'ETANCHÉITÉ AUX GAZ ... 103
• Propriété de la barrière ... 104
• L'étanchéité externe ... 105
• L'étanchéité interne sur paroi ... 105
• L'étanchéité interne flottante ... 106
• L'étanchéité du sol ... 106
• Menuiseries ... 108
• Les traversées de paroi ... 108
• Le rôle de la diffusion ... 108
L'EQUILIBRAGE DES PRESSIONS ... 109
• Les causes des variations de pression ... 109
• Les soupapes d'équilibrage ... 111
• Les ballons de compensation ... 113
LES TESTS D'ETANCHEITE ... 113
• Test de diffusion ... 113
• Test de convection ... 114
• Conditions d'exécution des tests ... 116

La mise rapide en regime gazeux 116
• La descente rapide en circuit fermé 118
• La descente rapide en circuit ouvert 119
Regulation de l'atmosphere 123
• Les échangeurs-diffuseurs 123
• Les épurateurs de dioxyde de carbone (CO_2) 125
L'ethylene 128
L'evolution vers les tres basses teneurs d'O_2 129

5 Mesures et contrôles 131

Le circuit frigorifique 131
• Les sondes de température à principe électrique 133
• Les sondes d'humidité 134
• La mesure de la vitesse d'air 135
Le controle de l'atmosphere controlee 135
• mesure de l'oxygène et du dioxyde de carbone 136
• Pourquoi automatiser ? 137

6 Exemple de devis d'installation frigorifique 145

Devis pour trois chambres de 240 tonnes 145
• L'objet de l'offre 145
• Les données du projet 146
• Le bilan et le principe de l'installation 146
• descriptif de l'installation 146
• Les exclusions 150
• Commentaires 151
Etude comparative de consommation electrique 151
• Données 151
• Descriptif 152
• Consommation électrique 154

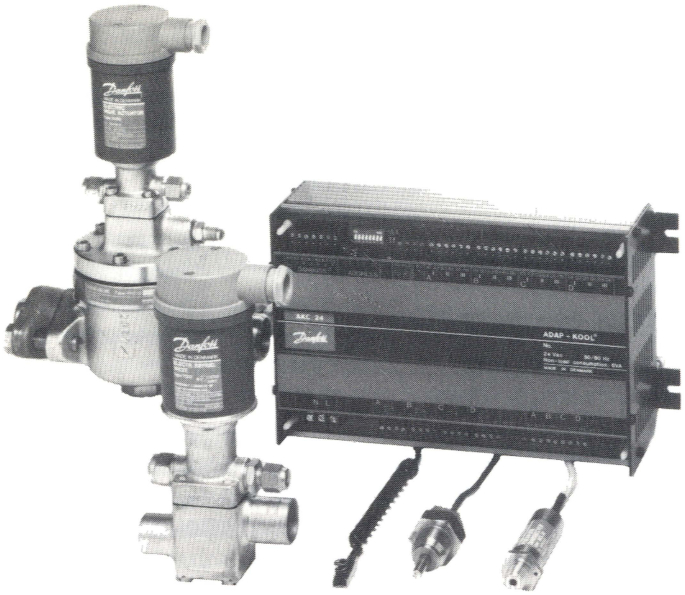
7 Annexes 155

8 Adresses utiles 161

9 Bibliographie 163

10 Glossaire 173

11 Liste des annonceurs 183



Electronique et Régulation
un bon mariage pour les pommes et les poires

- Un prix ultra compétitif par rapport aux systèmes "eau glacée"
- Des performances améliorées
- Une température constante (± 0,1 à 0,2 k)
- Une hygrométrie contrôlée
- Une facilité de surveillance par PC ou automate.

[redacted]

Danfoss

B.P. 58 - 78190 TRAPPES - ☎ **30 62 41 34**

1 PROJET D'ENTREPÔT FRIGORIFIQUE

La mise en œuvre d'un projet d'entrepôt frigorifique se justifie si l'on envisage de différer dans le temps la vente de tout ou partie d'une récolte de pommes ou de poires ou lorsque l'on envisage de substituer une gestion directe du stockage à une location.
La longévité d'une station, de l'ordre de 20 à 30 ans, implique une définition précise des besoins et des caractéristiques du projet. Cette approche suppose une réflexion simultanée sur les impératifs techniques, commerciaux, financiers, ainsi que sur les diverses contraintes qui pèsent sur le projet. Coûts d'investissement et de fonctionnement sont indissociables, avec un enjeu clair, la conservation de pommes et de poires de qualité.

Pour faciliter la compréhension, nous ferons souvent référence à un exemple fictif d'entrepôt frigorifique dont les différentes caractéristiques seront précisées au fil de l'ouvrage.

CONCEPTION DE LA STATION FRUITIERE

Elle se compose principalement :
- de l'atelier de conditionnement
- des locaux frigorifiques
- d'une salle des machines
- de quais et d'aires de stationnement
- de locaux administratifs.

Pour une première approche :
Quelle capacité de stockage ? Tenir compte d'une densité de chargement de 220 à 250 kg/m^3 (dépendant de la taille des locaux, de la disposition des charges...).

Combien de chambres froides ?
Considérer :
- la nécessité de stocker séparément pommes et poires, variétés précoces et tardives

- les températures de conservation optimales propres à chaque variété
- des sensibilités propres à certaines d'entre elles (échaudure...)
- des possibilités journalières de récolte, de refroidissement et de conditionnement. Remplissage souhaitable = 5, 6 jours. Commercialisation 8, 10 jours.

Quelles dimensions et capacité pour les chambres froides ?

La capacité des locaux est limitée à des tonnages compris entre 100 et 400 tonnes. Les capacités les plus souvent rencontrées sont de l'ordre de 250 t, quantité correspondant au travail de conditionnement sur 10 jours maximum.

Dimension à retenir :
- distance entre pallox : 0,05 m
- pallox et plafond : 0,8 à 1,20 m
- pallox et paroi opposée à l'évaporateur : 0,8 à 1,00 m
- pallox et paroi côté évaporateur : 0,50 m
- pallox et paroi latérale : 0,20 à 0,40 m.

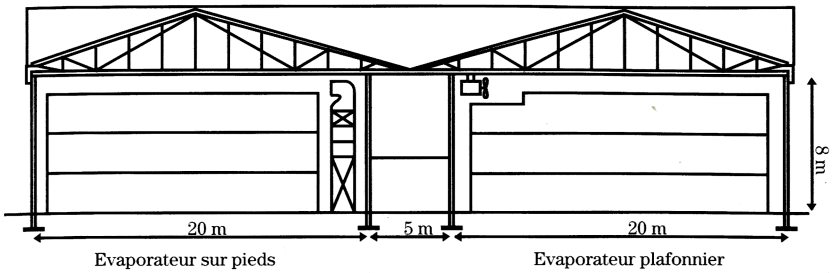
Conception de la station fruitière

L'entrepôt frigorifique pour pommes et poires s'intègre généralement à un ensemble dénommé station fruitière. Celle-ci est le site d'un certain nombre d'opérations intervenant sur les fruits, de la récolte à la commercialisation : tri, calibrage, lavage, emballage, classement qualitatif et expédition.
Dans le cas des pommes et des poires, l'expédition est généralement précédée d'un stockage en local frigorifique qui concerne tout ou partie de la production.
Les locaux frigorifiques ont généralement une double fonction : ils assurent le refroidissement initial puis maintiennent les denrées entreposées dans les conditions optimales de conservation. On se limitera dans ce chapitre, à énoncer quelques règles élémentaires non exhaustives, pour la réalisation d'un entrepôt frigorifique de station fruitière.

1 Plan de masse, dispositions générales

La station fruitière est généralement située sur les lieux mêmes de production, en position centrale afin de minimiser les déplacements. En outre, le choix de l'implantation doit tenir compte :
- des moyens de communication (route essentiellement, proximité éventuelle d'une voie ferrée),
- de la nature du sol (sain, bien drainé),
- des aires de stationnement, du stockage des pallox et des extensions éventuelles. Au niveau du trafic, la disposition générale des locaux

doit éviter tout croisement et retour en arrière,
- des possibilités d'alimentation en eau et en énergie.
Le plan de masse comprend :



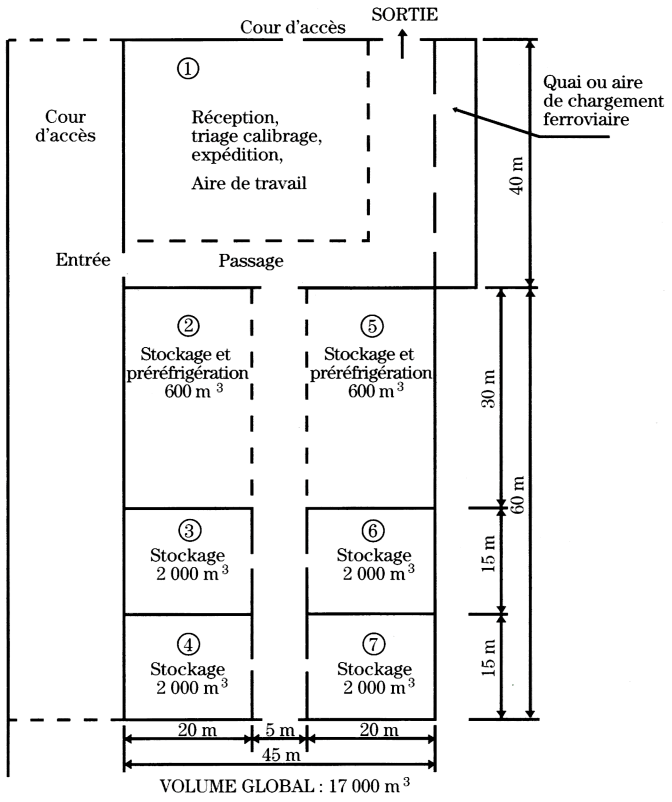


Figure 1 - 1

Plan type de station fruitière. (d'après FONTANEL R.P.F. 1985)

- L'atelier de conditionnement : c'est l'élément essentiel autour duquel sont installés les équipements complémentaires.
- Les locaux frigorifiques. Ils sont généralement accolés à l'atelier de conditionnement et souvent répartis de part et d'autre d'un couloir central dont la partie supérieure peut servir de galerie technique. La salle des machines doit être positionnée le plus près possible des batteries de refroidissement. Le choix de son emplacement doit égale-

ment tenir compte des extensions éventuelles. Elle est accolée au bâtiment principal ou empiète sur la surface d'une chambre.
- Les locaux administratifs.
- Une réserve d'emballage est parfois réalisée. Son importance en volume tend à régresser du fait du développement des emballages carton et de leur montage sur place. Les pallox sont stockés dans un bâtiment séparé.

Entrepôt avec galerie technique sur couloir central

Dans notre cas d'étude, nous partons de trois chambres accolées les unes aux autres. L'extension future visant à créer ce couloir, avec trois chambres de chaque côté.
- Des aires de stationnement et de chargement. Elles représentent au moins 5 fois la surface des bâtiments. Elles doivent être largement calculées, d'autant plus que le chargement des camions tend à se faire par le côté. Lorsque le terrain est plat, ce qui est généralement le cas, on peut aménager un quai de chargement à niveaux.

2 Capacité de stockage, dimensions des locaux frigorifiques

Capacité de stockage

La capacité de stockage est calculée sur la base d'une densité de 220 à 250 kg/m^3, soit 4 à 4,5 m^3 par tonne de produits entreposés. La capacité totale de stockage doit s'élever à 80 % de la récolte.

Nous prenons pour référence une production de 900 t, qui suppose une capacité de stockage de 720 tonnes. La différence correspond à des variétés précoces ou vendues sans conservation.

Nombre de salles :
Le nombre de salles est déterminé, entre autres, en fonction des considérations suivantes :
1 - Nécessité de stocker séparément les pommes et les poires, les variétés précoces et les variétés tardives.
2 - S'il est souhaitable sur le plan physiologique, le stockage séparé de chaque variété est difficilement réalisable du point de vue économique. Il faut par contre regrouper les lots en fonction :
• des dates de récolte (il faut éviter de conserver ensemble des lots de fruits immatures et des lots de fruits mûrs),
• des températures de conservation,
• des teneurs en O_2 et en CO_2,
• des durées de conservation escomptées pour chaque lot,
• des sensibilités propres des différentes espèces vis à vis de certaines maladies d'entreposage, l'échaudure en particulier. Il est en principe recommandé de conserver seules les variétés sensibles à cette maladie.

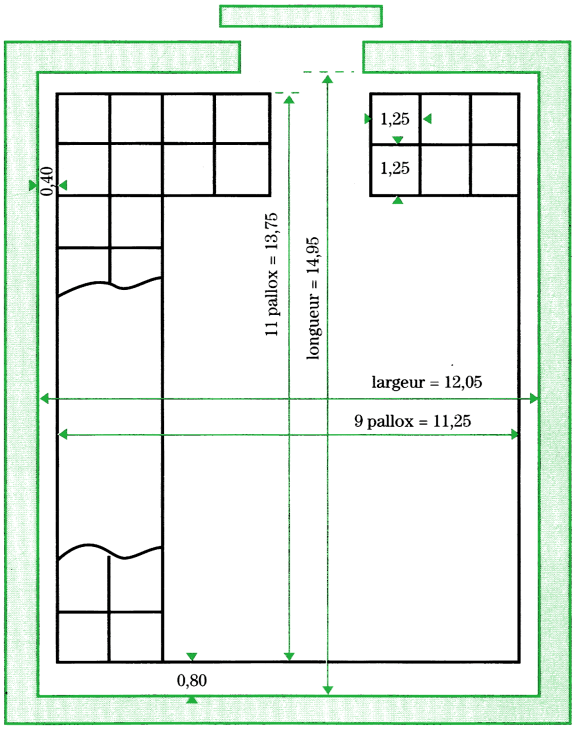


Figure 1 - 2

Détail de palettisation d'une chambre (pallox 1,20 x 1,20) (d'après FONTANEL)

Nombre de pallox :
9 x 9 x 11 = 891
(330 tonnes)

Volume intérieur :
14,95 x 12,95 x 8 = 1440 m^2

Densité de chargement :
230 kg / m^3

3 - Des possibilités de récolte, de refroidissement et de conditionnement journalières : actuellement, on considère qu'il est souhaitable de remplir une chambre en 5 à 6 jours et d'assurer sa commercialisation en 8, 10 jours maximum.

Nous faisons le choix de trois chambres, correspondant à 3 groupes de variétés principales. Par exemple, Golden, Granny Smith, Rouges américaines.

Dimensions des locaux
Pour des raisons évoquées dans la suite de l'ouvrage, la tendance actuelle est de limiter la capacité des chambres froides à des tonnages compris entre 100 à 400 tonnes.
- Les dimensions en plan sont des multiples de celles de pallox. Y sont ajoutés les espaces nécessaires entre chaque pallox (5 cm), entre pallox et paroi (0,2 à 0,4 m sur les côtés), 0,80 m au niveau de la paroi opposée aux évaporateurs et 0,50 m sous ceux-ci.
- Les hauteurs sous plafond peuvent atteindre 7,5 à 8,5 mètres pour des gerbages jusqu'à 10 pallox (7,50 m). Il faut ménager, entre le sommet des piles de pallox et le plafond, un espace suffisant (0,80 m minimum).

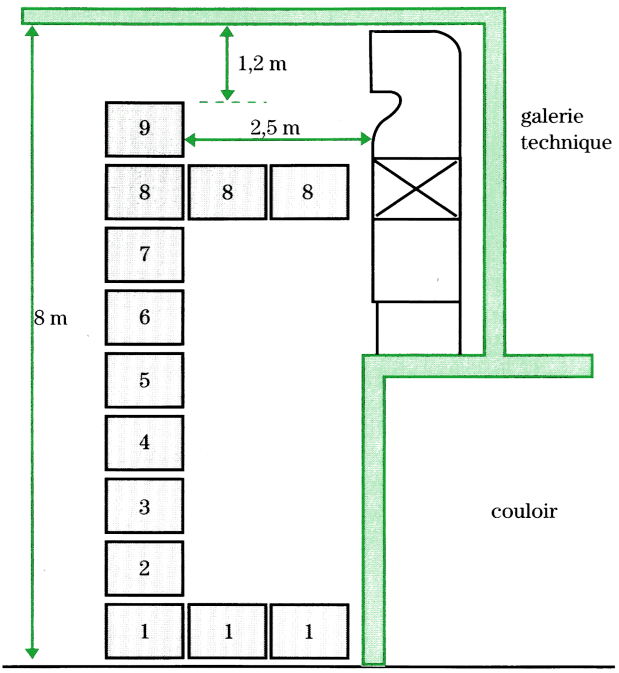


Figure 1 - 3

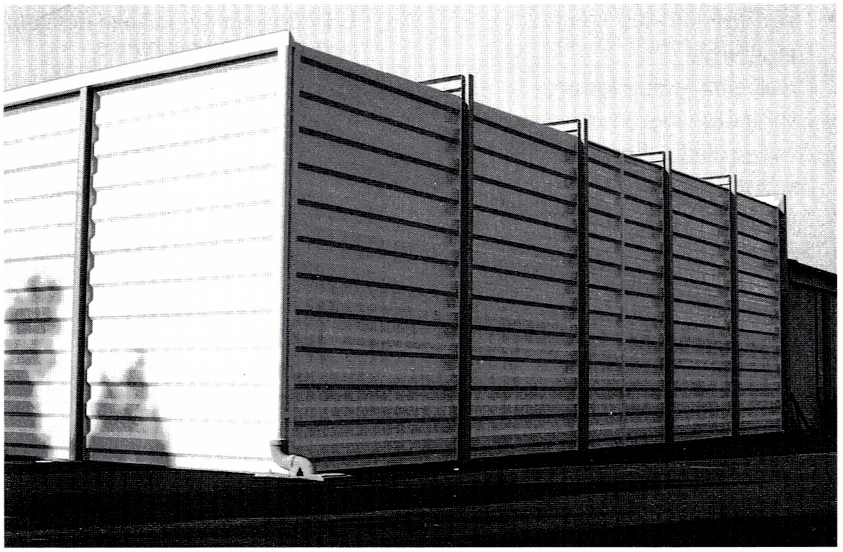
Palettisation.
Coupe au niveau d'un frigorifère (d'après FONTANEL).

- Pour une bonne ventilation, la longueur des locaux ne dépasse pas 20 mètres, la largeur 15 mètres. En pratique, 15 m en longueur et 10 à 12 m en largeur sont les dimensions les plus souvent rencontrées.

La capacité a été déterminée par le volume de la production, le refroidissement rapide en 5 jours. Les dimensions retenues sont de 16,75 m x 8,75 x 7,50. Le gerbage se fait sur 9 pallox.

L'organisation du projet

L'organisation du projet débute par la définition des besoins. A partir de ceux-ci, sont établis les cahiers des charges relatifs aux différents corps de métier intervenant dans la réalisation du bâtiment industriel. Les devis sont comparés avec le concours de conseillers spécialisés. On s'assurera par ailleurs du sérieux des entreprises et du respect des normes et règles en vigueur. Après commande, il est important de bien suivre les travaux, d'en assurer la réception, point de départ du transfert de responsabilité entre le fournisseur et l'utilisateur. La formation des hommes et les guides d'utilisation et de maintenance des matériels, sont indispensables pour assurer la qualité et la longévité de l'installation. Les rénovations sont assorties d'un diagnostic poussé pour savoir ce qui peut être valablement conservé de l'existant.



Entrepôt type Isometal à charpente intégrée

L'équipement du bâtiment doit permettre d'y accomplir les différentes opérations nécessaires pour une conservation de qualité à un coût acceptable. L'ensemble est relativement complexe et va faire appel à des techniques très spécifiques.
Principal acteur initial, demandeur ou décideur de l'opération, l'exploitant utilisateur ou le propriétaire est le maître d'ouvrage. Suivant sa compétence ou sa disponibilité, il pourra décider de traiter directement avec des fournisseurs connus, un par spécialité, il les utilisera comme guide et fournisseur. Cette option repose sur la confiance. Le maître d'ouvrage a également la possibilité d'étendre la discussion à plusieurs fournisseurs et de comparer les offres. Enfin, l'établissement du projet avec le concours d'un maître d'œuvre, architecte ou ingénieur conseil, constitue une troisième alternative.

1 Le plan général de l'organisation

Le plan général de l'organisation des opérations peut être le suivant :

Tableau 1.I
Maître de l'ouvrage (l'exploitant)
Maître d'œuvre (architecte ou bureau d'études)

Première œuvre (génie civil)	Deuxième œuvre (équipement technique)
Terrassements Voies, routes, dégagements (VRD) Fondation Maçonnerie Béton armé Charpente et couverture Evacuation des eaux usées Arrivée d'eau, électricité Sanitaires Aménagements divers Sécurité	Isolation, froid, atmosphère contrôlée 1) Etude préliminaire, plan de masse 2) Coordination des devis 3) Définition du partage des lots et des responsabilités 4) Rédaction des marchés de travaux 5) Liaison des entreprises au stade étude 6) Liaison et coordination des entreprises au stade réalisation et montage 7) Direction des essais et mises en route 8) Réception provisoire et définitive des travaux 9) Contrat de maintenance

Entrepôt en panneaux sandwiches intégrés et charpente bois

Cette organisation est un canevas général, susceptible de modifications, aussi bien en fonction des particularités du projet que de l'éventuel regroupement de plusieurs fonctions. Elle appelle quelques remarques. D'abord, la maîtrise absolue est impensable pour un homme seul, il devra s'entourer de conseils et de compétences éclairés. Ensuite, il importe de connaître un ensemble de réglementations et de documents techniques relatifs aux règles de l'art et aux conditions d'assurances afin de définir les responsabilités et obligations de chacun.

Tableau 1.II
Documents de référence

Document	Source	Objet
Loi 78.2 du 4.01.78	J.O.	Responsabilité et assurance dans le domaine de la construction
Documents Techniques Unifiés Règles NV 65	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	Neige et vent
DTU 45.1 09.90	CSTB frigorifiques	Isolation thermique des bâtiments
DTU 67.1 09.90	CSTB frigorifiques	Isolation thermique des circuits
NF F.35 - 400 11/80 Machines et installations	AFNOR	Règles de sécurité, fluides frigorigènes-frigorifiques
Loi 19.07.76	J.O.	Installations classées pour la protection de l'environnement
Loi 04.07.68	J.O.	Déclaration obligatoire des chambres froides pouvant être utilisées pour la conservation des denrées alimentaires
Norme PO 3001		Rédaction et mise en œuvre des pièces du marché administratif

2 Les documents du projet

Si nul n'est censé ignorer la loi, la réalisation d'un projet repose sur l'établissement de documents contractuels qui auront force de loi

entre les parties. Ils seront gages d'une bonne réalisation et serviront de documents de références en cas de litiges. Sans être exhaustif, on peut citer le plan de masse, indispensable au génie civil, et les cahiers des charges. C'est, en fait, un ensemble de prescriptions techniques, ou de besoins à satisfaire, faisant explicitement références aux textes réglementaires et autres DTU (Document Technique Unifié). Etablis par le maître d'ouvrage, ils sont suivis des devis, bons de commande, procès-verbaux de réception des travaux et guides d'utilisations et de maintenance.

Le plan de masse

Le plan de masse a déjà été évoqué plus haut. Sa réalisation est l'occasion de décider les grandes lignes du projet, en particulier la disposition des locaux. Dans le cas de l'entrepôt frigorifique seul, plusieurs options sont envisageables pour la localisation de la machinerie frigorifique et de celle de l'atmosphère contrôlée. Dans un dispositif à couloir central et chambres de part et d'autres, il est tentant de faire de ce couloir une galerie technique. Cela suppose la construction d'une dalle capable de supporter le poids des machines (pas toujours négligeable pour une cuve d'eau glycolée de 20 000 litres). En l'isolant et en le dotant d'un évaporateur, on obtient un espace d'entreposage complémentaire en froid normal. En adoptant la solution salle des machines au sol, la surface nécessaire peut être incluse dans le périmètre de l'entrepôt, au détriment d'une chambre, ou dans un bâtiment contigu. Dans ce dernier cas, l'accès est facilité, en particulier lors du changement de gros éléments. Il importe de bien prévoir les extensions futures lors de la localisation de la salle des machines.

Le cahier des charges

Le cahier des charges comprend en fait plusieurs volets. Il est indispensable car c'est la base des appels d'offres. Plus il sera précis, mieux il permettra de comparer des offres. Trop détaillé, cela signifiera que les choix techniques ont déjà été faits et qu'il n'y a plus de place pour la discussion. Or, au niveau d'un projet, il est essentiel d'étudier les variantes techniques possibles et leurs conséquences pour faire des choix raisonnés. Dans la réalité pratique, son volume va de la simple page où quelques notes sont griffonnées, à un document massif de plusieurs dizaines de pages.
Nous avons déjà précisé quelques éléments de notre exemple. Pour le froid, il nous faut indiquer au moins les températures et le temps de marche en période de refroidissement :
- Données de référence :
  Quantité journalière à refroidir :
  120 tonnes sur 3 chambres, 50 tonnes sur une chambre
  Température d'introduction : 25°C
  Température de conservation : 1°C
  Temps de marche des compresseurs : 20 heures par jour en refroidissement.

Ces bases vont permettre l'établissement du bilan thermique à partir duquel seront déterminées l'isolation et l'installation frigorifique nécessaires, dont les spécifications vont être fournies dans les devis.

Les devis

Les devis doivent être les plus détaillés possible, en évitant les omissions. Ils rappellent les éléments du cahier des charges, éventuellement modifiés après discussion et accord. On y retrouve :
- la nature du produit, son conditionnement, son volume et son rythme d'introduction,
- les températures d'introduction et de conservation; l'humidité relative et la composition gazeuse,
- la nature du courant et la qualité de l'eau disponible (éventuellement),
- les dispositifs de surveillance, de contrôle et de sauvegarde, moyens humains et techniques,
- les caractéristiques générales des fournitures,
- les conditions de fonctionnement,
- les réservations,
- les exclusions,
- les conditions de vente, le prix, les options et les conditions de règlement,
- les garanties, les délais d'option, de livraison, d'exécution de montage,
- les essais et mise en route, la réception.

Le devis type de l'installation froid fait l'objet du paragraphe 6.1.

La comparaison des propositions

La comparaison des propositions débute par la vérification du respect des conditions fixées au cahier des charges. Si la rentrée journalière a été minorée ou non précisée, il faut s'attendre à des fortes variations entre les offres. La comparaison se poursuit par l'inventaire des spécificités techniques en s'aidant des valeurs de ratio de référence ou de tout autre élément connu. Si les matériels sont différents, il est par exemple inutile de noter le nombre de pistons d'un compresseur si son concurrent est à vis. Au besoin, il faudra demander des éclaircissements supplémentaires. Des indications précises doivent être fournies concernant le détail des fournitures pour éviter des surprises. Il est évident que ces comparaisons ne sont bien faites qu'avec un minimum de connaissances techniques, au moins pour établir un dialogue fructueux et toujours utile voire indispensable avec le fournisseur. Il faudra disposer d'éléments sur la formation nécessaire du personnel et la maintenance ultérieure.
Le prix ne doit pas cacher ce qu'il recouvre : il peut être très attractif grâce à l'impasse sur des éléments de conception, de sécurité ou de fiabilité. Il peut paraître exagéré alors qu'il privilégie l'efficacité, la fiabilité et le coût de fonctionnement.

Le marché de travaux

Le devis a un caractère de proposition, alors que le marché de travaux, défini par la norme P 03001, constitue la base réglementaire de la passation de commande. Ce document a valeur juridique, il constitue le point de départ de l'engagement des partis. Le bon de commande ne permet pas toujours de sauvegarder les intérêts de l'acheteur s'il a été rédigé par l'entrepreneur.

3 Le suivi des travaux

L'importance du déroulement des travaux dans la qualité du résultat final nécessite un suivi méticuleux de leur déroulement. Des erreurs sont inévitables, une grande part d'entre elles est détectable avec de la curiosité et du simple bon sens. Quelle que soit la délégation de pouvoir du maître d'ouvrage concernant leur suivi, il est indispensable que l'exploitant futur s'y intéresse de très près. Mieux on connaît une installation, mieux on l'exploite. Des modifications sont toujours apportées aux plans initiaux et il faut les prendre en compte. Rien n'est plus stupide que de rechercher une panne électrique à partir d'un plan de câblage faux. Certaines étapes ou détails de la construction gagnent à être fixés sur la pellicule photographique. Pour un bon suivi, il faut de la présence, vérifier la conformité du matériel livré avec celui prévu, contrôler des choses simples comme les épaisseurs d'isolant.

Tableau 1.III

Lot n° _____

Désignation du lot _____

Le maître d'ouvrage soussigné _____

Après avis favorable de _____ et essais complets du _____

Prononce à la date du _____ la réception de l'installation sise au lieu-dit

_____

Sous les réserves de principe et d'usage et les réserves complémentaires énumérées en annexe (1).

En conséquence, le délai de garantie commence à dater de ce jour.

Le présent procès-verbal de réception autorise le paiement du terme correspondant au marché.

Fait à _____ le _____

Le Maître de l'ouvrage — Le Directeur de l'entreprise

Exemplaire remis à l'entrepreneur – le maître d'ouvrage – le maître d'œuvre – l'exploitant.

(1) Le départ des garanties a pour origine la réception des travaux. L'entreprise dispose de un ou plusieurs mois pour lever les réserves formulées.

La réception des travaux est obligatoire et s'effectue au moment de la mise en service de l'installation avant la prise de possession par le maître d'ouvrage. C'est aux yeux des assurances, la base du transfert de responsabilités entre le constructeur et le propriétaire. En l'absence de réception des travaux, il ne sera pas possible de faire jouer la garantie en cas de litige, que celle-ci soit biennale ou décennale. Le procès-

verbal de réception fait suite au programme des essais et vérifications élémentaires de la bonne marche des éléments. Il atteste qu'ils répondent bien au but recherché. S'il y a défaut ou insuffisance, il importe de formuler des réserves avec les moyens d'y remédier et de préciser le délai d'exécution. La formulation des réserves n'a rien d'exceptionnel, ne serait-ce que sur des points de détail, montage, peinture, réglage. Un exemple de procès-verbal de réception est donné page précédente (*tableau 1.III)*.

4 Les litiges

Il importe de bien définir un projet, de choisir judicieusement des entreprises qui respectent les règles de l'art, de réaliser les essais et d'en dresser le procès-verbal. Le soin ainsi apporté au projet permet d'éliminer la plupart des sources de litiges, toujours longs, souvent compliqués et parfois très coûteux. Ils peuvent porter sur des défauts d'étanchéité en atmosphère contrôlée, des chutes de plafond avec des soupapes d'équilibrage sous-dimensionnées, des défauts de fixation de panneaux, des siphons de dégivrage mal posés. Pour les absorbeurs de CO_2, il peut s'agir de défaut de réglage du système de régénération entraînant des entrées d'air, de défaut d'étanchéité des conduites, d'appareils mal dimensionnés, de court-circuit entre les arrivées et les départs de tuyauteries dans la chambre. Pour l'installation frigorifique : sa puissance peut être insuffisante, le brassage d'air excessif, la surface des évaporateurs insuffisante, les variations de température trop importantes.

Tableau 1.IV
Plan général du rapport d'expertise (d'après R.P.F. 1987)

PLAN GÉNÉRAL DU RAPPORT D'EXPERTISE
1. **Exposé de la mission** Mission de l'expert; les ordonnances précisant la mission.
2. **Opérations d'expertise** Constats effectués sur les lieux; liste des réunions d'expertise tenues sur place; compte rendu des essais effectués.
3. **Documents communiqués et recherche des causes de l'avarie** Documents contractuels et documents techniques; détermination de la cause de l'avarie; travaux de remise en état ou défaut éventuel de la marchandise
4. **Estimation des dommages et préjudices directs**
5. **Dires des parties** à ou aux experts. Réponses aux dires.
6. **Conclusion**
7. **Annexes** Plans, schémas, photographies, documents contractuels.

Tableau 1.V
Les litiges. La solution type : l'expertise

Numéro	Désignation	Action	Remarques
1	Constat d'avarie	Informer les Cies d'assurances et le propriétaire	En cours d'entreposage
2	Mise au point. Procédure. Expertise	Choix de la forme : amiable ou judiciaire	Suivant avis des experts ; des parties en cause ou importance du litige
3	Désignation d'un expert	Technicien désigné par le Tribunal compétent	Avec co-expert éventuellement
4	1re réunion d'expertise	Direction de l'expertise. Recueil d'informations. Dire des parties	En présence de toutes les parties. Règle du contradictoire
5	Diverses réunions sur place	Recherche de documents. Essais à réaliser	Recherche des causes et des caractéristiques de l'installation
6	Analyse des divers facteurs	Essais à réaliser	
7	Dire des parties concernées		
8	Réunion finale	Pré-conclusion éventuelle suivant les demandes des parties	
9	Rapport, rédaction	Fin de l'expertise. Envoi du rapport au Tribunal, aux parties	
10	Clôture de la mission sauf contrôle de bonne fin des travaux si nécessaire		

5 Points particuliers

L'établissement du devis donne l'occasion d'étendre la réflexion à certains domaines voisins de la construction.

L'électricité

Il n'est pas inutile d'évoquer ce point puisque la plupart du temps, le projet entraîne le changement de transformateur, la puissance souscrite étant supérieure au préexistant. Par ailleurs l'électricité pèse lourd dans le coût de fonctionnement. Il est important de tenir compte dans le projet de la répercussion des choix : conception centralisée ou non, nombre de compresseurs, d'évaporateurs, variation de puissance ou de vitesse, faibles écarts de températures, qualité de l'isolation, facteur de puissance (qui peut être corrigé avec un condensateur pour diminuer la part d'énergie réactive) et de l'utilisation judicieuse des tarifs E.D.F. (effacement en heures de pointe, tarifs E.J.P.). Ces considérations doivent influencer les choix techniques. Une comparaison des consommations pour trois cas de figure est fournie au chapitre 6.

Le personnel

La formation générale et spécifique du personnel doit être prise en compte dès la conception du projet. Le personnel de conduite doit être qualifié et formé à la conduite de l'installation. Pour cela, il devra

disposer d'un descriptif technique complet de l'installation, d'un guide d'utilisation et d'entretien et au besoin suivre un stage chez le constructeur pour s'initier à la conduite du matériel spécifique. Une formation orale à la sauvette en l'absence de toute notice technique, ne peut garantir la bonne marche d'une installation et sa pérennité .

La sécurité

La sécurité commence par la prévention, laquelle débute dès la conception, par le choix de matériaux non inflammables, ou la disposition des locaux, (stockage d'emballages dans un bâtiment à l'écart). La sécurité suppose également des installations spécifiques de lutte anti-incendie et la formation du personnel à son utilisation. Le personnel doit également connaître les règles de sécurité et la conduite à tenir en cas d'incendie. Un minimum de formation pratique est recommandé avec, par exemple, un exercice d'extinction de feux réels, car on éteint un début d'incendie avec un verre d'eau ou plutôt un extincteur en bon état !

Après l'incendie d'un entrepôt frigorifique

Emballages, problèmes électriques et travaux de soudure sont les trois causes principales d'incendie. La surveillance et les systèmes de détection jouent un grand rôle dans la prévention. L'installation électrique est à contrôler tous les ans par une société agréée APAVE ou autre. Les conditions d'assurances pour couvrir le risque d'incendie doivent porter à la fois sur les denrées entreposées et l'infrastructure à reconstruire. Il est important de noter que l'infrastructure vaut moins cher que les pommes qu'elle contient.

6 La rénovation

La rénovation mérite un développement particulier en raison de la moyenne d'âge élevée des stations fruitières, construites massivement de 65 à 75, agrandies par la suite mais rarement rénovées. La rénovation porte d'abord sur l'équipement froid et atmosphère contrôlée, avec en premier lieu l'isolation. Il est intéressant, lors de la conception d'un projet d'avoir une idée des durées de vie des équipements dont on dispose, car cela peut éclairer certains choix.

Tableau 1.VI
"Durée de vie" (d'après R.P.F. 1989)

Numéro	Références/types	Durée de vie admise
1	**Groupe frigorifique (compresseur)**	**15/20 ans, soit 60 000 h**
2	Chaudière	15 à 20 ans
3	**Pompe de circulation**	**15 à 20 ans**
4	Ballon d'accumulation	15 à 20 ans
5	Collecteur	15 à 20 ans
6	**Isolation**	**10 à 15 ans**
7	**Réfrigérant atmosphérique**	**10 ans**
8	Ejecto-convecteur	20 à 25 ans
9	Ventilo-convecteur	15 à 20 ans
10	Traitement d'air, centrale	15 ans
11	Batterie chaude et froide	10 à 15 ans
12	Gaines d'air	20 ans
13	**Ventilateur**	**20 ans**
14	**Electricité, tableaux, câblages**	**10 à 15 voire 20 ans**
15	Robinetterie, vannes	15 à 20 ans
16	Soupapes	10 ans
17	Vannes d'expansion	13 ans
18	Traitement d'eau, adoucissement	9 ans
19	Transformateur	30 ans

Essentielle l'obtention du meilleur équilibre coût-efficacité, repose d'abord sur un diagnostic très poussé de l'installation existante. Le schéma d'ensemble qui vous est présenté rappelle les grandes lignes d'action.

Effondrement d'un plafond à isolation en laine de verre

Tableau 1.VII
Schéma de rénovation (d'après R.G.F. 1986)

dimensions des couloirs, largeur des portes, hauteur des chambres

- **insuffisantes**
  - verger constant : reconstruction (éventuellement choix d'une meilleure implantation, regroupement de stations anciennes pour un meilleur format).
  - verger plus grand : extension par nouvelles chambres, anciennes chambres réutilisées pour traitements spéciaux, stockage d'expédition...
- **suffisantes**
  - 1) Génie civil, isolation
    - revoir l'état des isolants, des sols; faire les réparations nécessaires
    - améliorer éventuellement l'isolation par isolation du sol en pourtour, bardage, aménagement des combles, etc.
    - munir les chambres de portes coulissantes à commande automatique.
  - 2) chambres à atmosphère contrôlée
    - suffisantes
      - contrôle périodique des étanchéités
      - économies sur les appareils à combustion (ceux-ci seulement pour mise en régime)
      - entretien des absorbeurs à CO_2
    - insuffisantes
      - équiper des chambres existantes de systèmes d'étanchéité internes et assurer la surveillance et l'entretien de ceux-ci
      - *ou bien*
      - construire de nouvelles chambres à atmosphère contrôlée,étanches aux gaz en face externe
  - 3) équipement frigorifique
    - vétuste (plus de 20 ans) et peu entretenu → réfection totale
    - récent ou très bien entretenu et réparé : *diagnostic* éventuel par spécialistes
      - système centralisé à puissance suffisante pour la préréfrigération dans la plupart des chambres de stockage → remise en état pour retrouver les performances initiales et améliorations de détail : condenseurs plus performants (moindre $\Delta\theta$), systèmes de dégivrage (commande et conception du dispositif de dégivrage), etc... et définition d'un programme d'entretien : nettoyage des condenseurs, des évaporateurs, surveillance du givrage, du revêtement intérieur des chambres, de l'étanchéité extérieure, etc...
      - groupes frigorifiques indépendants et/ou puissance totale trop faible → *refonte* en une installation centralisée, alimentée par pompe, avec réutilisation éventuelle d'éléments : évaporateurs des chambres, certains compresseurs...

améliorations à envisager dans tous les cas

- commande automatique de l'installation frigorifique
- contrôle centralisé
  - ambiance des chambres
  - sécurités
  - signalisation des incidents et pannes
- selon format : informatisation plus ou moins poussée de l'exploitation, jusqu'au repérage électronique des lots
- modernisation raisonnée du matériel de tri-conditionnement
- amélioration du programme d'exploitation : cueillette, réception, manutations, contôles de qualité, expédition (préservation de la qualité des fruits et productivité optimale de la main d'œuvre).

Chaque type d'équipement requiert un diagnostic spécifique. La thermographie infrarouge est un moyen efficace et assez peu coûteux de connaître l'état de l'isolation. Pour sa restauration la solution la plus simple consiste à monter des panneaux à l'intérieur de l'existant. Cette solution entraîne une perte de volume, et nécessite de renforcer la

charpente pour le support des panneaux et leur résistance aux dépressions.
Si l'état de l'isolation et la qualité de l'écran pare-vapeur le permettent, la technique de projection de mousse de polyuréthanne peut être utilisée. Une fois le chantier entrepris, son suivi et sa conduite d'ensemble sont analogues à un projet neuf, assorti de quelques contraintes, notamment dimensionnelles de l'existant.
Les tentatives de récupération du matériel frigorifique sont à raisonner en fonction de la corrosion, qui révèle souvent des surprises et une marge d'impondérables doit être prévue dans le devis financier de l'opération.

Les facteurs physiques et chimiques de la chambre froide

Température, humidité relative, vitesse d'air, teneurs en oxygène (O_2) et en dioxyde de carbone (CO_2) dans le cas de l'atmosphère contrôlée, teneurs en produits volatiles, sont les principaux facteurs intervenant sur le climat d'un local frigorifique.
Ces facteurs seront abordés dans la suite de cet ouvrage. Nous n'énonçons ici que les principes ou définitions nécessaires à la bonne compréhension de la suite. Ces paramètres ne sont jamais maintenus à des valeurs rigoureusement constantes dans le temps ni dans l'espace. Ceci est particulièrement vrai pour la température et l'hygrométrie. Les variations dans le temps sont dues au fonctionnement du cycle frigorifique. Les variations dans l'espace peuvent être dues à un grand nombre de facteurs :
- les entrées de chaleur par les parois (exposition du bâtiment, qualité de l'isolation)
- les dimensions du local
- le système de ventilation
- le taux de remplissage
- la nature des denrées et des emballages.

Ces variations doivent d'une part être connues et, d'autre part maintenues aussi faibles que possible autour des valeurs retenues.

1 La température

La température recommandée pour l'entreposage doit être prise à cœur du fruit. Une différence, même minime, persiste toujours entre la température du produit et celle de l'ambiance du local. Par ailleurs, température ambiante et température parallèle des fruits diffèrent suivant les points du local. Il existe par exemple un gradient thermique entre la sortie de l'air froid des évaporateurs et la reprise d'air après passage dans les emballages.
Il sera utile de prévoir dès la conception de l'entrepôt un système de

mesure permettant d'apprécier la température à cœur des fruits ainsi que les gradients à l'intérieur des locaux de conservation (voir chapitre 5), de même qu'un système d'enregistrement. Ces dispositifs sont particulièrement utiles lorsque l'entreposage est effectué à des températures proches du point de congélation (cas des poires).

2 L'humidité relative

C'est principalement l'humidité relative qui commande les pertes de masse au cours de l'entreposage frigorifique. Ces pertes de masse peuvent se traduire, lorsqu'elles deviennent excessives, par une dépréciation de la qualité de présentation. Il n'est pas bon par ailleurs de réduire au maximum les pertes d'eau en cherchant à réaliser une humidité relative très élevée. Une humidité excessive est au contraire à éviter car elle prédispose les fruits à certains accidents de conservation (sensibilité aux pourritures, à certaines maladies physiologiques : éclatement des fruits, échaudure). Une humidité excessive est également défavorable au développement de la qualité gustative des fruits.
L'expérience a montré qu'une humidité relative de 92-93 % est nécessaire et suffisante pour assurer un entreposage correct des pommes et des poires sur une longue période.
Dans un local frigorifique l'élément fondamental qui conditionne l'humidité relative est l'évaporateur. Le fonctionnement de cet organe sera abordé au chapitre 3. La mesure de l'humidité relative au chapitre 5. Nous rappellerons ici quelques définitions et examinerons les mécanismes qui conditionnent les transferts d'eau du fruit vers l'ambiance.

Caractéristiques de l'air humide

L'air humide est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. L'air sec contient 21 % d'oxygène et 78 % d'azote. La partie restante correspond aux gaz rares.
La quantité de vapeur d'eau que peut contenir une masse donnée d'air humide est limitée. Tout apport supplémentaire entraîne la formation de brouillard, qui est une suspension de gouttelettes liquides dans l'air : on dit que l'air est saturé.
Cette quantité limite, fonction de la pression, varie avec la température et croît en fonction de celle-ci (tableau 1.VII et *figure 1.4*).
La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air humide est généralement exprimée en gramme par kg d'air sec : c'est le rapport de mélange des tables psychrométriques. On peut également utiliser le gramme par m^3 ou la pression partielle de vapeur d'eau dans le mélange (mm de mercure ou millibar).
Chacun des constituants du mélange exerce une pression dont la somme représente la pression atmosphérique. Ainsi, si la pression de l'air saturé à 20 °C est 1013 mbar, elle se décompose en :
- Pression de l'air sec (oxygène, azote, gaz rare : 989,7 mbar).
- Pression de la vapeur d'eau : 23,3 mbar.

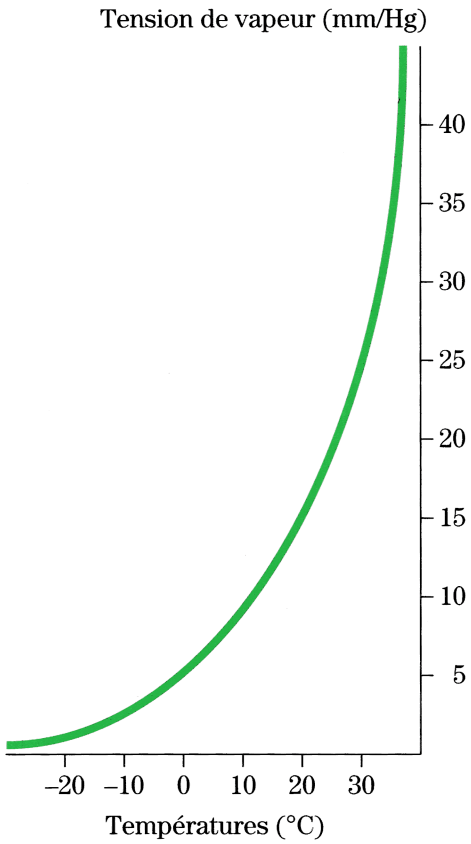


Figure. 1 - 4

Vapeur d'eau contenue dans l'air saturé

Définition de l'humidité relative

Pour une pression et une température données, l'humidité relative peut être définie par le rapport entre la masse de vapeur d'eau contenue dans un certain volume (ou masse) d'air à la masse maximum que ce même volume (ou masse) pourrait contenir s'il était saturé dans les mêmes conditions de température et de pression.
Exemple :
- A + 2 °C l'air saturé contient 4,36 g de vapeur d'eau par kg d'air sec.
- Si cet air, à la même température, ne contient plus que 3,9 g/kg d'air sec, son humidité relative sera de 3,9 / 4,36 = 0,9 soit 90 %.

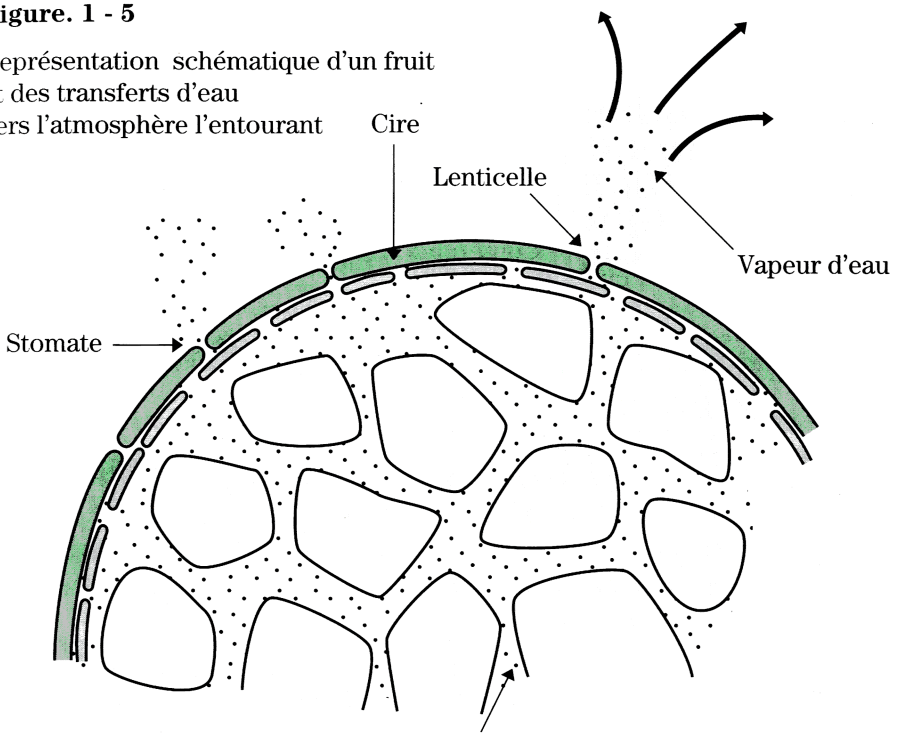
Le déficit de pression de vapeur

Notion importante en entreposage frigorifique, l'humidité relative ne rend qu'imparfaitement compte des pertes en eau. Un grand nombre de facteurs sont en jeux qui seront envisagés dans le volume II de cet ouvrage. Nous examinerons en revanche ici le déficit de pression de vapeur.
Les végétaux sont constitués de cellules qui ménagent entre elles des espaces appelés méats (*figure 1.5*). Ces espaces intercellulaires communiquent avec l'atmosphère externe par l'intermédiaire de ruptures

au niveau de l'épiderme (stomates, lenticelles... éventuellement blessures). On peut considérer que l'atmosphère interne contenue dans les méats est pratiquement saturée d'humidité. Il y aura donc migration de l'atmosphère interne saturée vers l'air ambiant non saturé entourant les fruits. Les pertes en eau seront proportionnelles à la différence des pressions partielles de vapeur d'eau entre l'extérieur et l'intérieur. Cette différence est appelée déficit de pression de vapeur (DPV). Son calcul est simple. Pour une température de 25 °C, on lit

Figure. 1 - 5

Représentation schématique d'un fruit et des transferts d'eau vers l'atmosphère l'entourant



sur le *tableau 1-VIII*, page 35, la valeur de la pression partielle de la vapeur d'eau, soit 23,74 mm Hg. C'est l'atmosphère saturée à 100 % d'humidité relative. Si l'air est à 30 % H.R., on l'applique à cette valeur de pression, soit 7,12 mm. La différence, égale à 16,62 mm Hg, est le D.P.V.

- Pour le même fruit, placé dans une ambiance à +4 °C et 90 % HR, le déficit sera de 18,2 mm Hg.
- Lorsque le fruit sera en équilibre de température avec l'ambiance (à +4 °C), le déficit sera de 0,61 mm Hg.
- Si le fruit est stocké à 0 °C au lieu de +4 °C, le déficit ne sera plus que de 0,46 mm Hg.

Le fait de placer un fruit chaud dans une ambiance à humidité relative élevée mais à température plus basse ne suffit pas à limiter les pertes en eau, au contraire. A humidité égale, le "débit" de perte sera plus faible à 0 °C qu'à + 4 °C.

Ceci souligne l'intérêt d'un refroidissement rapide pour limiter les pertes en eau ainsi que l'influence de la température sur les transferts d'eau.

3 La vitesse de l'air et la composition de l'atmosphère

FACTEURS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE LA CHAMBRE FROIDE.

Température, humidité relative, coefficient de brassage.
La conservation des fruits est obtenue par une bonne stabilité du climat de la chambre froide. La température influe sur le métabolisme de base, la respiration du fruit en est un bon marqueur. Pour les pommes et les poires, les températures à envisager sont soit légèrement négatives (poire Conférence), soit nulles à positives (jusqu'à + 4 °C pour certaines variétés).
Une hygrométrie relative comprise entre 90 et 95 % est à rechercher.
Les coefficients de brassage (volume brassé/volume de chambre froide vide) seront compris entre 40 et 50 pendant la période de descente en température, entre 15 et 20 en conservation.

La vitesse de l'air au contact des denrées résulte du brassage de l'atmosphère par les ventilateurs. Ce brassage a un double but :
- Améliorer le fonctionnement de la batterie froide et véhiculer l'air froid produit vers les fruits.
- Homogénéiser les conditions physiques de l'entreposage (température, humidité, composition).
- La vitesse de l'air est rarement mesurée en entreposage frigorifique.

On apprécie les mouvements d'air par le coefficient de brassage. C'est le rapport du volume d'air engendré par heure par les ventilateurs au volume de la chambre vide. Une bonne distribution de l'air ne dépend pas uniquement du coefficient de brassage mais de nombreux facteurs tels que les dispositifs de distribution d'air (buses et autres...) de la nature des emballages, de leur disposition dans le local. Le brassage ne doit surtout pas être excessif sinon il entraîne des pertes accrues en eau. On peut apprécier la qualité du brassage par l'importance des gradients de température dans le local : le meilleur brassage est celui qui assure les gradients de température les plus petits pour la mise en jeu des volumes d'air les plus faibles.
En pratique, pour les chambres assurant à la fois la préréfrigération et le stockage, le coefficient de brassage doit pouvoir être modifié selon la fonction du local :
- 40 à 50 en préréfrigération
- 15 à 20 en conservation.

Les modifications du coefficient de brassage peuvent être obtenues par l'utilisation de ventilateurs à deux vitesses, c'est une bonne solution. On peut aussi réduire le nombre des ventilateurs en service ou

disposer des variateurs électriques sur les ventilateurs, solution la plus souple et la plus onéreuse (*cf chapitre 3*).

Composition de l'atmosphère :

1 - Produits volatils

Dans quelques cas particuliers, les locaux frigorifiques peuvent être équipés de dispositifs spéciaux pour assurer un renouvellement d'air (mélanges de variétés...). En effet, les denrées entreposées émettent outre du gaz carbonique, de l'éthylène, des composés volatils qui peuvent parfois se révéler nuisibles à l'entreposage des produits eux-mêmes et qu'il est nécessaire d'éliminer.

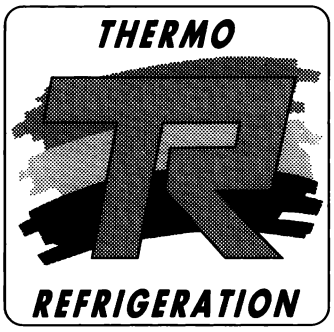
Les dispositifs de renouvellement d'air sont alors situés de façon à ce que l'air passe préalablement sur l'évaporateur avant d'être soufflé dans la chambre froide. Les volumes mis en jeu sont importants. Une opération de renouvellement d'air complète nécessite un volume 10 à 15 fois supérieur à celui du local vide.

2 - L'atmosphère contrôlée

La composition chimique de l'atmosphère d'un local frigorifique peut également être caractérisée par les teneurs en oxygène et en dioxyde de carbone : c'est le stockage en atmosphère contrôlée (entreposage dans une atmosphère très appauvrie en oxygène et modérément enrichie en dioxyde de carbone). Cette technique nécessite des dispositifs de régulation complexes dont l'étude sera envisagée au chapitre 4.

Tableau 1.VIII
Caractéristiques de l'air humide

Temp. °C	Masse volumique de l'air sec kg/m³	Teneur en eau de l'air saturé (w) g/m³	Pression partielle de la vapeur d'eau (f) mm Hg	Masse volumique de l'air humide kg/m³
-5	1,317	3,279	2,93	1,3123
-4	1,312	3,556	3,23	1,3071
-3	1,308	3,885	3,57	1,3004
-2	1,303	4,209	3,91	1,2953
-1	1,298	4,543	4,24	1,2903
0	1,293	4,875	4,57	1,2853
1	1,289	5,246	4,92	1,2804
2	1,284	5,624	5,29	1,2738
3	1,279	6,011	5,68	1,2693
4	1,275	6,439	6,09	1,2642
5	1,270	6,883	6,54	1,2578
6	1,265	7,350	7,02	1,2530
7	1,261	7,856	7,51	1,2468
8	1,256	8,378	8,04	1,2407
9	1,252	8,952	8,60	1,2361
10	1,248	9,547	9,20	1,2315
11	1,243	10,180	9,84	1,2270
12	1,239	10,841	10,51	1,2210
13	1,234	11,550	11,22	1,2151
14	1,230	12,300	11,98	1,2092
15	1,226	13,094	12,78	1,2034
16	1,221	13,919	13,62	1,1976
17	1,217	14,799	14,52	1,1933
18	1,213	15,733	15,46	1,1876
19	1,209	16,708	16,46	1,1820
20	1,204	17,735	17,52	1,1764
21	1,200	18,328	18,63	1,1709
22	1,197	20,002	19,81	1,1641
23	1,193	21,223	21,05	1,1587
24	1,189	22,508	22,36	1,1521
25	1,185	23,854	23,74	1,1468



FROID INDUSTRIEL

EQUIPEMENT FRIGORIFIQUE :

AMMONIAC
FRÉON
EAU GLYCOLÉE

TRAITEMENT D'AIR : Marque ABSOGER

GÉNÉRATEUR D'AZOTE - PSA
ABSORBEUR DE CO^2
ANALYSEUR

Agences

Rue Printania
72200 La Flèche
Tél. 43 94 12 78

Z.A. St-Lambert
49400 Saumur
Tél. 41 67 29 24

Siège social :
Z.I. de Luceau
72500 Chateau-du-Loir
Tél. 43 44 34 89 - Télécopie : 43 44 09 01

2 L'ISOLATION

L'isolation est le complément indispensable à toute installation frigorifique. Son rôle est de s'opposer aux échanges de chaleur entre le local frigorifique et l'extérieur et donc de limiter dans de très grandes proportions les pertes de frigories donc les coûts de fonctionnement. Elle doit également s'opposer aux migrations de vapeur d'eau.
L'isolation frigorifique conditionne la durée de fonctionnement de l'installation frigorifique et a donc une incidence directe sur la qualité finale des produits entreposés. Elle fait l'objet des DTU 45.1 et 67.1 de septembre 1990, déjà cités et très complets.

Quelques rappels :

La transmission de la chaleur au travers d'une paroi s'effectue suivant trois mécanismes fondamentaux (*figure 2.1*) :
- le rayonnement
- la conduction
- la convection.

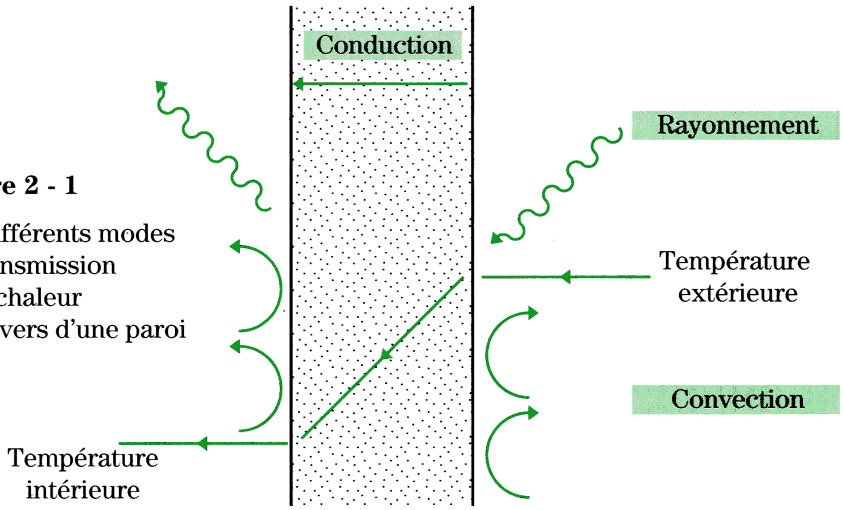


Figure 2 - 1

Les différents modes de transmission de la chaleur au travers d'une paroi

Le rayonnement :
Un corps chaud émet un rayonnement calorifique qui peut se propager même dans le vide absolu, une paroi froide peut alors l'absorber ou le réfléchir.
S'il est absorbé, ce rayonnement se transforme en chaleur qui a pour effet d'augmenter la température de la paroi.
Les surfaces claires rejettent le rayonnement calorifique : en pratique, on recherchera des surfaces lisses, des peintures claires, qui réfléchissent le rayonnement.
Du fait des phénomènes de rayonnement, les températures extérieures moyennes sont généralement majorées de 15°C en toiture, 10°C pour les murs exposés la plus grande partie de la journée au soleil, 5°C pour les murs à l'Est. Il s'agit de celles prises en compte pour le calcul du bilan thermique.
La convection thermique :
C'est l'échange de chaleur entre une paroi et un fluide (liquide ou gaz) qui se trouve à son contact.
Pour les calculs pratiques, convection et rayonnement sont souvent réunis en un coefficient de transmission thermique de surface h pour lequel on adopte souvent les valeurs suivantes :
- intérieur d'un local = 5 à 7
- extérieur des parois d'un local frigorifique = 15 à 20.

La conduction thermique :
Cette notion traduit la capacité de transfert de chaleur à l'intérieur d'un corps dont les différentes parties sont à des températures différentes. Son importance dépend largement de la nature du milieu conducteur.

Tableau 2-I
Valeur de quelques coefficients de conductivité

Types	Matériaux	λ w/m.°C
Matériaux de construction	Béton armé Brique Béton cellulaire (suivant densité)	1,5 0,32 0,16 à 0,32
Isolant	Polystyrène expansé	0,037
Métal	Cuivre	390
Liquide	Eau	0,6
Gaz	Air	0,02

Quelques définitions :
- Le coefficient de conductivité (λ) = Il définit le pouvoir isolant d'un matériau. Il s'exprime en watt par mètre d'épaisseur et par degré d'écart.
- Le coefficient de transmission (K) = Il définit le pouvoir isolant d'une paroi.

$K = \frac{\lambda}{e}$ (W/m². °C)

λ = coefficient de conductivité
e = épaisseur de la paroi (en mètre)

- Le flux thermique (Φ) = La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur d'un entrepôt isotherme engendre un flux thermique dirigé de l'extérieur vers l'intérieur.

$\Phi = \frac{\lambda}{e}(te - ti) = \frac{\lambda}{e}\Delta t$ (W/m²)

Le flux thermique admis pour les chambres à pommes est de 8 W/m².
Calcul des épaisseurs pour une première approche
Un calcul simplifié peut être établi à partir de la formule suivante :

$e = \Delta t \cdot \frac{\lambda}{\Phi}$ (m)

Pour un flux thermique de 8 W/m², un écart de température de 35°C et un isolant avec un coefficient de conductivité de 0,03 (type polyuréthanne), l'épaisseur de la paroi doit être de :

$e = \frac{0{,}030 \times 35}{8} = 0{,}13$ m

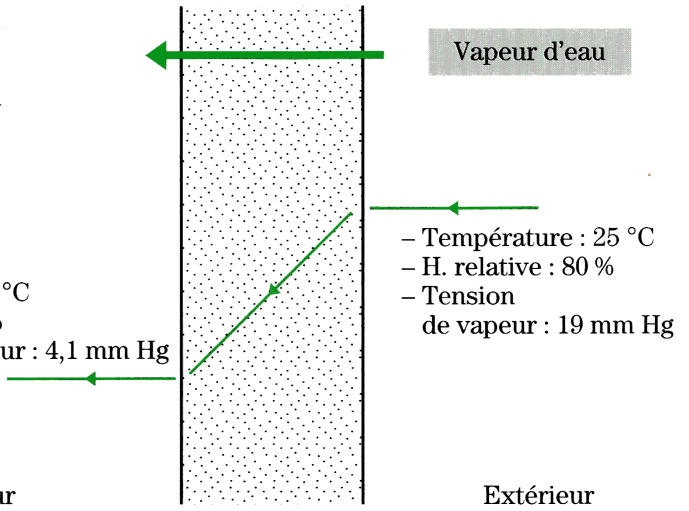
La barrière de vapeur

1 Les migrations de vapeur d'eau

Au travers d'une paroi isolante passe non seulement de la chaleur mais aussi de l'air humide donc de la vapeur d'eau sauf si l'enceinte est rigoureusement étanche, ce qui est très difficile à obtenir.
Cette tendance à la diffusion de la vapeur d'eau au travers la paroi d'un frigorifique, résulte de la différence des pressions partielles de vapeur d'eau existant entre l'intérieur et l'extérieur du local (voir paragraphe "humidité relative" au chapitre 1).
L'écart entre les pressions partielles de vapeur d'eau interne et externe est d'autant plus grand que le milieu extérieur est chaud, contient beaucoup d'eau et que l'intérieur du local froid contient peu d'eau.
La migration de vapeur d'eau au travers une isolation doit être évitée ou tout au moins fortement limitée car elle a pour conséquence une entrée de chaleur latente dans le local frigorifique et un givrage des évaporateurs. Sa présence dans l'isolant dégrade ses capacités, l'alourdit, le fait augmenter de volume et peut entraîner sa destruction.
On dispose alors sur la face "chaude" de l'isolant, un écran pare-vapeur dont les caractéristiques essentielles sont étudiées dans le paragraphe suivant.

Figure 2 - 2

Migration de la vapeur d'eau au travers d'une paroi isolante



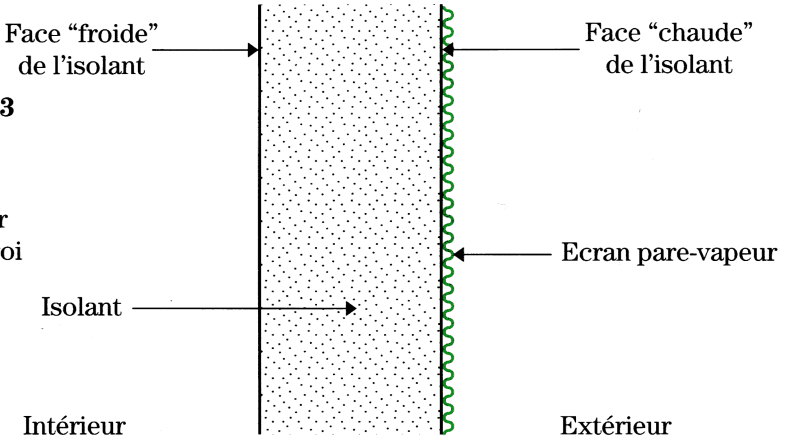


Figure 2 - 3

Position de l'écran pare-vapeur sur une paroi isolante

La migration de la vapeur d'eau ne se pose pas dans les mêmes termes selon qu'il s'agit d'une isolation "traditionnelle", ou d'une isolation réalisée en panneaux sandwichs intégrés. Dans ce dernier cas, le revêtement des panneaux sandwichs, généralement de la tôle d'acier de faible épaisseur, constitue une excellente barrière à la vapeur. Seuls subsistent les problèmes d'étanchéité, au niveau des joints ainsi qu'au niveau du sol. Facilement résolus ceux-ci n'en requièrent pas moins une grande attention.

2 Les matériaux pour barrière de vapeur

La barrière de vapeur peut être réalisée à partir de matériaux en feuille ou d'enduits.
- Les enduits sont le plus souvent à base de bitume, en solution ou en émulsion. En émulsion, ils sont souvent appliqués en plusieurs couches pour pallier aux fissures occasionnées par l'évaporation de l'eau lors du séchage.
- Les matériaux en feuilles sont généralement des voiles de polyéthylène, des feutres bitumineux ou des complexes bitume/alu. La perméabilité des matériaux en feuille est mieux connue, mais ceux-ci nécessitent lors de leur mise en œuvre des joints dont la réalisation doit être soignée. Les enduits ne nécessitent pas de joints, mais il est délicat de les appliquer sur une épaisseur régulière.
- Compte tenu des difficultés de mise en œuvre des enduits, les films de polyéthylène sont le plus souvent utilisés.
Quel que soit le pare-vapeur utilisé, il faut se souvenir que l'épaisseur est un élément important de l'imperméabilité.
Les joints entre panneaux sont réalisés à l'aide de mastic aux silicones ou autres.

Tableau 2.II
Perméabilité à l'eau d'écrans pare-vapeur

Matériaux	Perméabilité ($\mu g/m^2/s$)
Matériaux en feuilles :	
• Polyéthylène 60 µ	81
• Polyéthylène 200 µ	11
• Feutre bitumineux 18 kg/m²	63
• Complexe bitume aluminium 18 kg/m²	49
Matériaux à enduire :	
• Emulsion de bitume 2 kg/m²	173
• Emulsion de bitume 3 kg/m²	115
• Mastics solvantés 2 kg/m²	13

La perméabilité à l'eau des matériaux isolants et du pare-vapeur est exprimée en $\mu g/m^2/s$ (micro gramme par mètre carré et par seconde).

1 $\mu g/m^2/s$ = 0,0864 $g/m^2/24h$ l'ancienne unité.

Les mesures de perméabilité sont effectuées selon la norme NF T56105. Les perméabilités annoncées doivent donc se référer à celle-ci.

Les matériaux isolants

Les matériaux isolants sont très nombreux, chacun ayant un domaine d'application plus ou moins spécifique en fonction de ses qualités propres.

Tableau 2.III
Principales caractéristiques des isolants les plus répandus
(G. Ballot & M. Duminil)

	Laine de verre	Polystyrène expansé (suivant classe, voir tableau spécial)	Polystyrène extrudé	Polyuréthanne fabrication par moulage (suivant classe)
Coefficient de conductivité W/m.°C	0,038 à 0,035	0,044 à 0,037	0,033	0,035 à 0,030
Masse volumique kg/m^3	22 à 29	9 à 25	28	30 à 70
Perméabilité à la vapeur d'eau µg/m^{2}s	Forte	1000 à 250	180	1400 à 900
Résistance à la compression kgf/cm^2	Très faible	0,3 à 1,5 (1)	2,5 (2)	1,4 à 5 (1)
Réaction au feu	Incombustible	Facilement inflammable qualité auto-extinguible	Auto-extinguible	Facilement inflammable qualité auto-extinguible

(1) Déformation 10 %
(2) Déformation 5 %

En matière d'isolation frigorifique des chambres froides à fruits, deux isolants dominent très largement : le polystyrène expansé et surtout les mousses de polyuréthanne. Le développement de ces dernières a accompagné celui des panneaux sandwichs, dont l'étude sera traitée plus loin. Il importe de bien connaître les caractéristiques de ces deux isolants afin de les utiliser dans les conditions les plus rationnelles. Les différences de coût d'un équipement peuvent se trouver justifiées non seulement par la mise en œuvre mais aussi par la qualité des matériaux utilisés.

PRINCIPALES QUALITÉS DEMANDÉES À UN ISOLANT :

- Faible coefficient de conductivité. C'est la caractéristique essentielle. Elle fait l'objet d'une norme NF X10 021.
- Résistance mécanique : important à considérer pour l'isolation des sols (résistance à la compression de 1,5 à 2 kgf/cm^2).
- Faible perméabilité à la vapeur d'eau.
- La masse volumique permet de reconnaître facilement à quelle "classe" (ou qualité) correspond un matériau isolant.

TOUTES CES CARACTÉRISTIQUES DOIVENT FIGURER SUR LA FICHE TECHNIQUE DÉCRIVANT LE MATÉRIAU.

Les matériaux isolants :

- Les mousses rigides de polyuréthanne = c'est l'isolant le plus répandu.

Deux qualités essentielles : faible conductivité et possibilité de fabrication sur chantier (notamment confection des joints). Il existe deux modes de fabrication et plusieurs qualités qui se distinguent par leur masse volumique, leur résistance à la compression.

- Le polystyrène expansé : de moins en moins utilisé (remplacé par les mousses de polyuréthanne). Il existe aussi plusieurs qualités et deux modes de fabrication.

- Le styrofoam : c'est un polystyrène extrudé utilisé pour la fabrication des sols ou la fabrication des panneaux sandwichs.

- L'écran pare-vapeur : il protège l'isolant contre les migrations de vapeur d'eau. Il est indispensable. Le revêtement des panneaux sandwichs (tôle d'acier) constitue un excellent pare-vapeur mais il faut assurer une bonne étanchéité au niveau des joints et au sol.

1 La qualité des matériaux isolants

Quelques caractéristiques sont importantes à connaître pour juger de la qualité d'un isolant :
La conductivité thermique. Définie précédemment, c'est le facteur essentiel. Elle fait l'objet de la norme NF X 10021.
La résistance mécanique doit être prise en compte pour la réalisation des sols. Pour le stockage des fruits, le matériau isolant doit offrir une bonne résistance à la compression (1,5 à 2 kg/cm^2).
La perméabilité aux gaz, tout particulièrement à la vapeur d'eau (voir plus haut) a fait l'objet de la norme NF T56 105. La perméabilité à l'oxygène et au gaz carbonique doit également être considérée pour la réalisation des chambres à atmosphère contrôlée.
La stabilité dimensionnelle est également à prendre en compte. Le coefficient de dilatation très élevé du polystyrène doit être intégré lors de la mise en œuvre.
La masse volumique est une caractéristique intéressante car la qualité de l'isolant y est liée, en particulier sa résistance mécanique et sa perméabilité aux gaz. Il est possible de la contrôler sur chantier par prélèvement d'un échantillon et mesure de son volume et de son poids. La masse volumique doit figurer sur les fiches techniques.

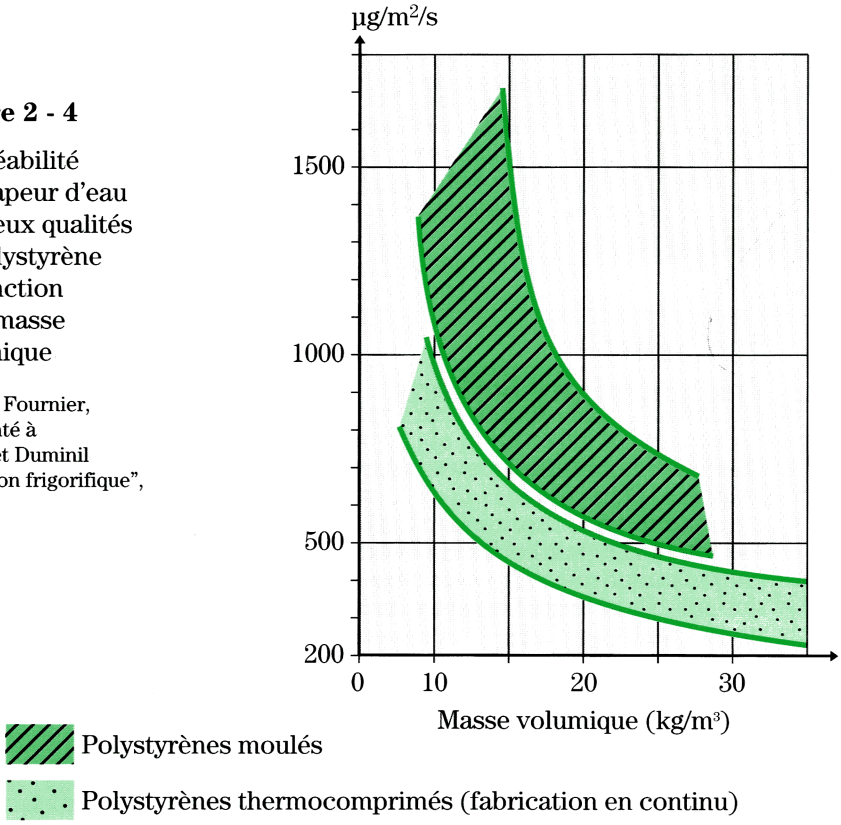
2 Le polystyrène expansé

Naguère très largement utilisé pour les entrepôts frigorifiques à fruits, le polystyrène expansé est de plus en plus remplacé par les mousses rigides de polyuréthanne. Des procédés de fabrication différents, en continu ou par moulage produisent deux qualités bien différentes. La fabrication en continu donne un produit de meilleure qualité : conductivité et imperméabilité sont améliorées du fait d'une plus grande homogénéité et de la présence d'une "peau" de surface. Mais les fabrications courantes de polystyrène présentent l'inconvénient majeur de leur caractère inflammable, qui fait l'objet d'une classification.

Figure 2 - 4

Perméabilité à la vapeur d'eau des deux qualités de polystyrène en fonction de la masse volumique

d'après Fournier, emprunté à Ballot et Duminil "Isolation frigorifique", 1981.



Les principales caractéristiques des polystyrènes sont indiquées dans les *tableaux 2.IV* et *2.V* suivants :

Tableau 2-IV
Principales caractéristiques des cinq qualités de polystyrène fabriqué par moulage (d'après la Norme NFT 56-201)

	Qualité				
	Q1	**Q2**	**Q3**	**Q4**	**Q5**
Résistance à la compression (déformation de 10 %) kgf/cm²	0,300	0,612	0,918	1,224	1,530
Conductivité thermique W/m.°C	0,044	0,042	0,039	0,039	0,037
Indice de perméabilité à la vapeur d'eau µg/m²/s	1000	800	600	400	250
Masse volumique kg/m³	9	13	16	20	25
Repérage (couleur de l'emballage)	Orange	Marron	Bleu	Vert	Jaune

Tableau 2-V
Caractéristiques des polystyrènes obtenus par fabrication en continu (d'après document Isobox)

Dénomination commerciale	**Cell 2000**	**Cell 3000**	**Cell 5000**
Conductivité thermique (W/m.°C)	0,042	0,038	0,036
Résistance à la compression (bar)	0,6	1,2	1,7
Perméabilité à la vapeur d'eau Norme NFT 56-105	480	300	125

Signalons, dans la catégorie des polystyrènes, le styrofoam, polystyrène extrudé, utilisé pour l'isolation des sols ou la fabrication de panneaux sandwichs. Ce matériau présente une très bonne résistance à la compression, 2,5 kg/cm² avec affaissement de 5 % de l'épaisseur, ainsi qu'une très faible perméabilité à la vapeur d'eau (perméabilité = 278 µg/m²/s).

3 Les mousses rigides de polyuréthanne

Ces mousses possèdent deux caractéristiques essentielles :
• un très faible coefficient de conductivité,
• la possibilité de fabrication sur chantier. Cette caractéristique confère aux mousses de polyuréthanne, une grande souplesse d'utilisation (projection, injection, réalisation de joints...).
Comme pour le polystyrène, il existe deux modes de fabrication (moulage ou continu) et diverses qualités.

Tableau 2-VI
Principales caractéristiques des mousses de polyuréthanne obtenues par fabrication en continu (d'après MM. Ballot et Duminil, simplifié)

Qualités	Q1	Q2	Q3	Q4
Résistance à la compression (kgf/cm^2)	1,43	1,84	2,24	3
Conductivité thermique W/m°C	0,029	0,029	0,031	0,031
Perméabilité à la vapeur d'eau $\mu g/m^2/s$ (norme NF T 56 105)	1400	1300	1200	1100
Masse volumique (kg/m^3)	30	35	40	50

Nota : la perméabilité à la vapeur d'eau est très faible mais ne dispense pas de l'emploi d'une barrière de vapeur.

Mise en œuvre de l'isolation

L'épaisseur de l'isolation est généralement calculée à partir d'un flux thermique de pertes de 8 W/m^2. Des tables climatiques fournissent les températures extérieures. Il faut prendre en compte les maximums journaliers. Celles-ci seront éventuellement majorées de 5 à 10 °C pour tenir compte de l'isolation. Dans les conditions climatiques françaises, sont généralement retenues les épaisseurs d'isolation (exprimées en cm), mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2.VII

	Polystyrène expansé	Polyuréthanne
Sol	8 à 10	5 à 7
Plafond	16	12 à 14
Paroi	14	10 à 12

Epaisseurs : elles sont généralement calculées à partir d'un flux thermique de pertes de 8 W/m^2. Pour le polyuréthanne, les épaisseurs suivantes sont souvent retenues :
sol : 5 à 7 cm
plafond : 12 à 14 cm
paroi : 10 à 12 cm.

CHOIX DES PANNEAUX :

Il faut porter une attention particulière :
- à la densité de l'âme isolante (généralement de la mousse de polyuréthanne), 40 à 50 kg/m^3
- à la nature du revêtement et à son épaisseur
- à la nature des joints entre panneaux = joints secs ou injectés.

MISE EN ŒUVRE : QUELQUES POINTS ESSENTIELS

Elle est réalisée à partir d'une ossature métallique extérieure.
Un bardage est souhaitable pour protéger de l'action du vent et du rayonnement solaire direct.
Pour une bonne étanchéité, il faut prêter une attention particulière aux raccords entre panneaux (joints silicone ou autre) et en raccordement avec le sol.
Il faut assurer une protection efficace des pieds de parois contre les infiltrations d'eau (butoir extérieur avec joint mastic, butoir intérieur avec entoilage et résine) et les chocs mécaniques (madrier en bois ou autre) (*figure 2.9*).
L'isolation du sol est recommandée en raison de la qualité du produit entreposé. Compte tenu de son coût, on ne réalise généralement qu'une isolation périmétrique.

1 L'isolation traditionnelle

Elle est composée de l'extérieur vers l'intérieur du local frigorifique :
- d'une maçonnerie
- d'un écran pare-vapeur
- de l'isolant
- éventuellement d'un revêtement intérieur.

Ce système d'isolation est de moins en moins fréquent. Même pour l'isolation des locaux existants, l'isolation intégrée lui est souvent préférée.
La mise en oeuvre de l'isolation traditionnelle fait appel à quelques principes généraux :
- Il faut assurer la continuité de l'isolation par réduction ou suppression des ponts thermiques, en particulier au niveau de la traversée des parois. Dans le même but, il importe de croiser les joints d'angle.

On posera des panneaux de dimension suffisante, avec feuillure et couvre-joints tenant compte d'un retrait éventuel dans le cas du polystyrène.
- L'isolant sera protégé par la pose d'un écran pare-vapeur de bonne qualité. Pour ce, on prendra soin de la nature du matériau utilisé, de son épaisseur et de sa continuité.
- Enfin les panneaux devront être bien ancrés sur les parois de maçonnerie.

2 L'isolation intégrée

Tableau 2.VIII
Classification des P.S.I. d'après R.G.F. (1984)

CARACTERISTIQUES CHAMBRES FROIDES	**DESTINATION**	Volume et dimensions : notamment hauteur Températures interne externe Composition de l'atmosphère : normale ou contrôlée Exposition : protégée sous abris, exposée aux agents atmosphériques Environnement : normal, marin, pollution	Types d'installation : Usines alimentaires Entrepôts stockage Entrepôts distribution Chambres démontables Chambres spéciales
CARACTERISTIQUES DES P.S.I.	**FABRICATION**	Collage - type de colle Injection : discontinue / continue	Conformateur : en ligne / à étages (longueur limitée)
	COMPOSITION	**Revêtements** Type de traitement avant collage ou injection • Nature • Epaisseur • Poids • Forme : plan ou nervuré - type de nervure • Aspect : couleur - brillant • Finition de surface • Protection • Réaction au feu	**Ame isolante** Nature Epaisseur Densité % des cellules fermées Conductibilité thermique Réaction au feu Perméabilité - vapeur d'eau Températures limites d'emploi
	FIXATION ASSEMBLAGE	**Joints** Type sec - Type injecté Type du joint pare-vapeur Emboîtement Rainure Feuillure Serrage Closoir	**Systèmes de fixation** Position : dans les joints, dans les revêtements Résistance des fixations Traitement anticorrosion Possibilité de réglage Système monté en usine ou sur chantier

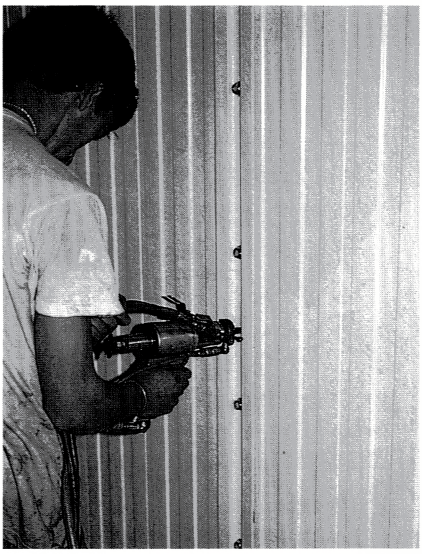
L'isolation intégrée est maintenant presque exclusivement utilisée pour la réalisation des entrepôts.
Cette technique de construction fait appel aux "panneaux sandwichs intégrés" ou "PSI" qui remplacent en un élément unique le complexe traditionnel maçonnerie, pare-vapeur, isolation, revêtement intérieur.
Le panneau sandwich est constitué d'une âme isolante le plus souvent constituée de mousse de polyuréthanne et de deux revêtements de plus en plus fréquemment métalliques. Ces faces métalliques sont nervurées afin d'améliorer la résistance mécanique.
Les panneaux sandwichs sont très généralement de type "injecté" : la mousse de polyuréthanne est injectée directement entre les deux revêtements puis s'expanse sous pression dans des machines spéciales.
Les principales caractéristiques à prendre en compte pour le choix d'un panneau sandwich intégré sont rassemblées dans le *tableau 2.VIII*. Les éléments figurés en caractère gras sont les plus importants à considérer.

Mise en œuvre des panneaux

Les PSI sont généralement soutenus par une ossature métallique externe. Une toiture assure la protection contre les intempéries. Le bardage extérieur est recommandé. Il protège de l'action du vent qui peut faire jouer les panneaux et diminuer leur étanchéité aux gaz. Il abrite également du rayonnement solaire direct.

Joints entre panneaux

Comme indiqué dans le *tableau 2.VIII*, les joints sont de deux types : sec ou injecté.



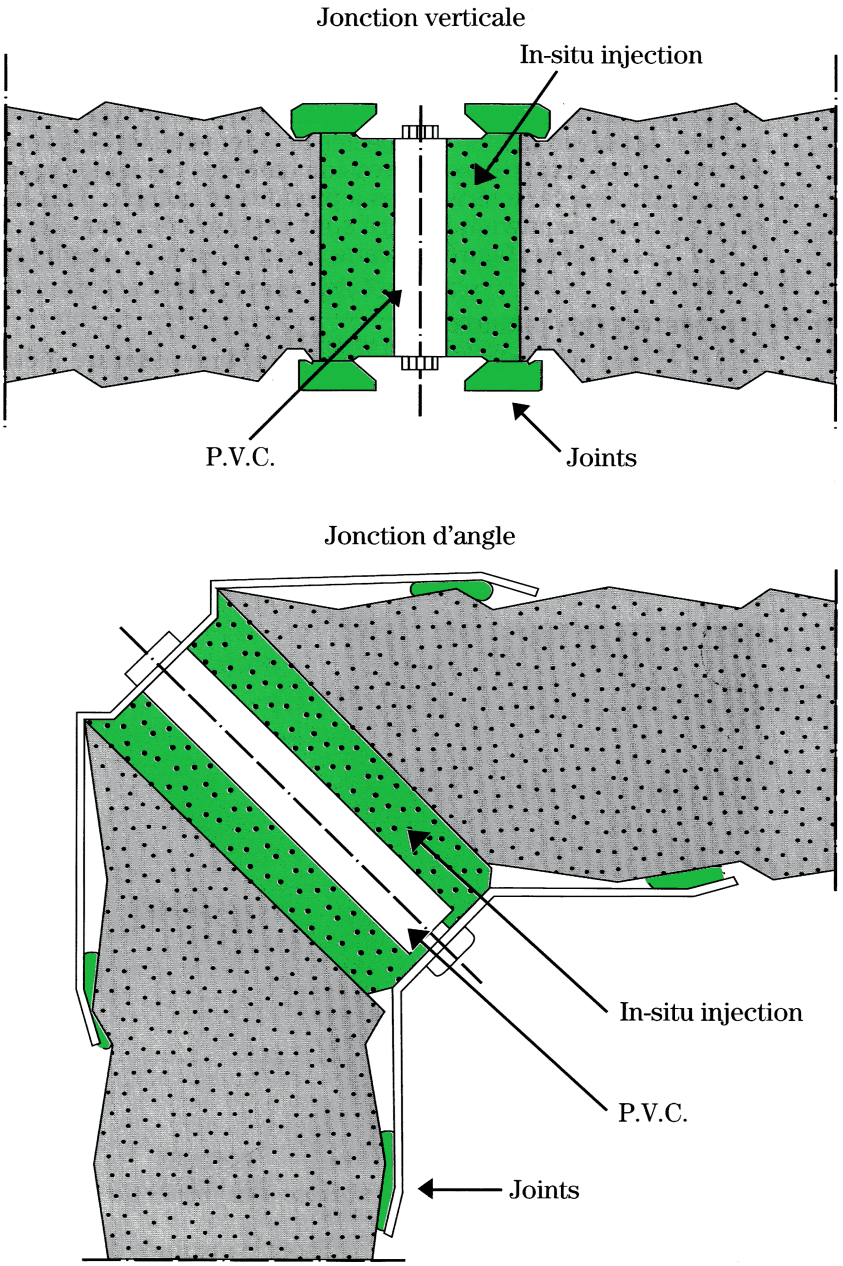
Injection de mousse de polyuréthanne aux joints de P.S.I.

Les joints injectés (*figure 2.6 haut*) sont constitués de deux profilés en acier galvanisé ou peint reliés entre eux par un manchon PVC et vis

Figure 2 - 6

Joints de type injecté

(doc technique Interfam)

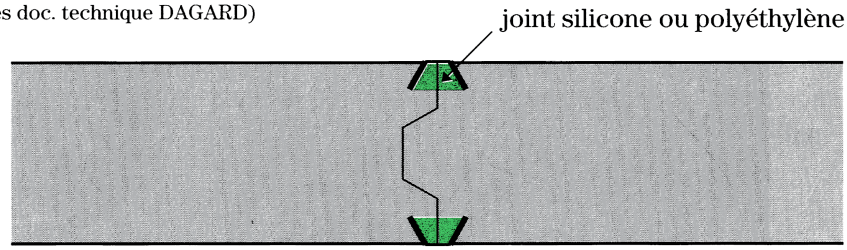


auto taraudeuse. Ces profilés prennent appui sur les bords des panneaux par l'intermédiaire d'un joint assurant la continuité de l'écran pare-vapeur. Après serrage, l'espace entre panneaux est rempli par injection de mousse polyuréthanne à partir de trous d'injection ménagés dans ces profilés. Ceux-ci doivent être assez rapprochés. Les joints d'angle (paroi/plafond) sont réalisés de la même façon (*figure 2.6 bas*).
Les joints de type sec sont réalisés par emboîtement simple ou double (*figure 2.7*). La continuité de l'écran pare-vapeur est réalisée après montage par un joint silicone appliqué au droit de la jonction entre panneaux. Afin de réduire les joints, source de fuites éventuelles, mais aussi pour faciliter le montage, la longueur des panneaux correspond généralement à la hauteur du local fini (7 à 9 mètres). Les panneaux ont généralement une largeur de 1,2 m.

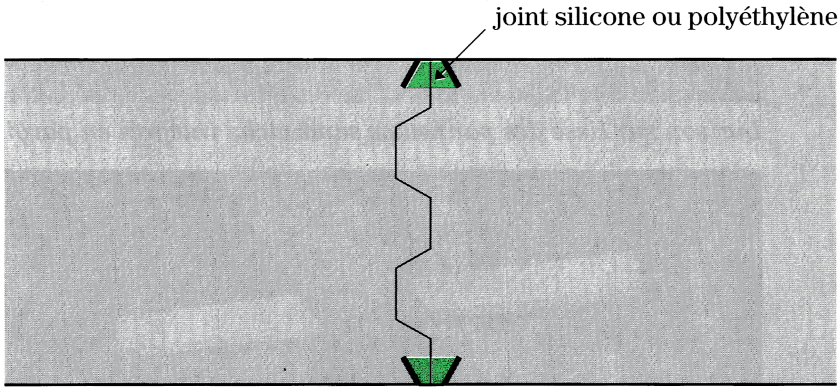
Figure 2 - 7

Joints de type sec

(d'après doc. technique DAGARD)



à simple emboîtement



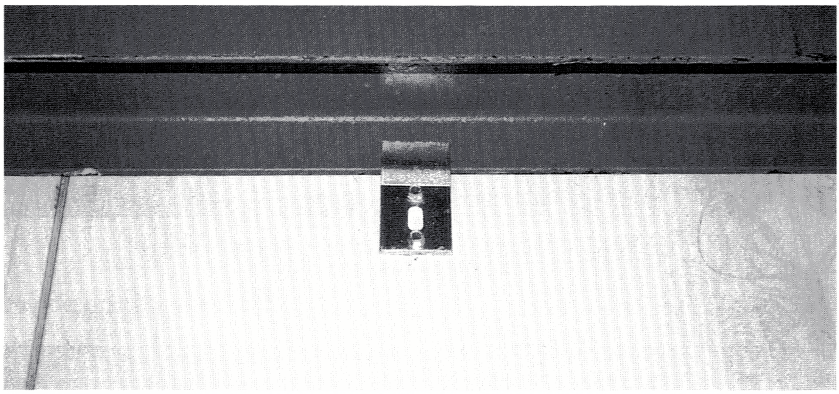
à double emboîtement

Fixation des panneaux sur charpente

Les panneaux sont fixés à la charpente par l'intermédiaire de lisse périphérique en paroi et suspente en plafond. Les fixations sont incorporées aux joints lorsque ceux-ci sont de type injecté ou situés dans

les panneaux lorsque les joints sont de type sec. Dans tous les cas, des renforts métalliques au niveau des joints ou des panneaux, sont prévus (*figure 2.8* et *2.9*).

Liaison paroi-toiture de P.S.I. à joints injectés



Liaison sur lisse des panneaux sandwichs intégrés en paroi

Liaison sur charpente des panneaux sandwichs intégrés en toiture

Figure 2 - 8

Joint de type injecté
a) Suspension plafond
(d'après FONTANEL
R.P.F. 1990)

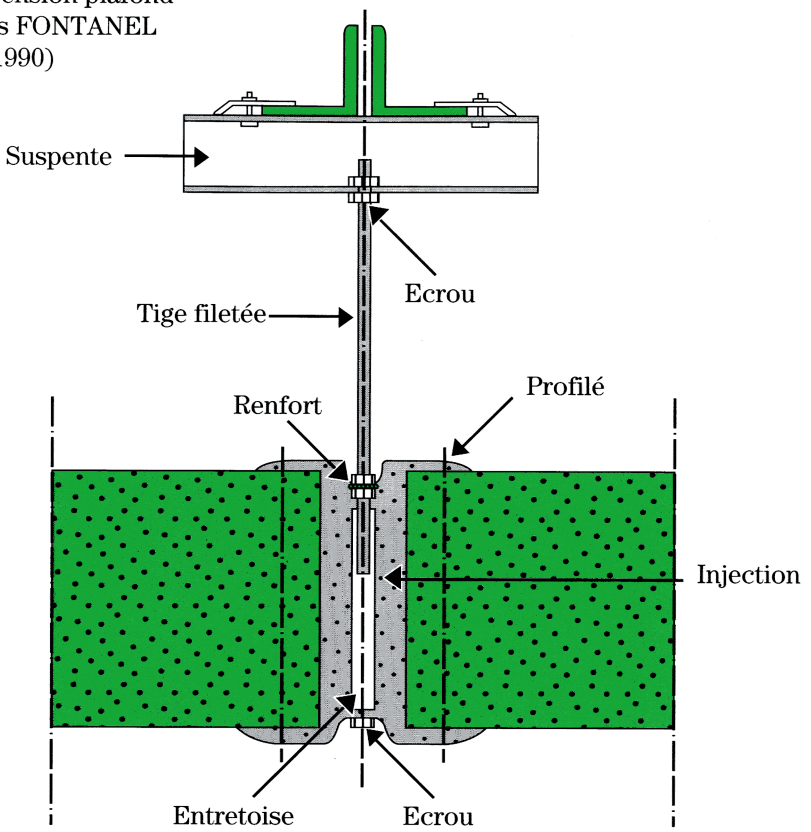
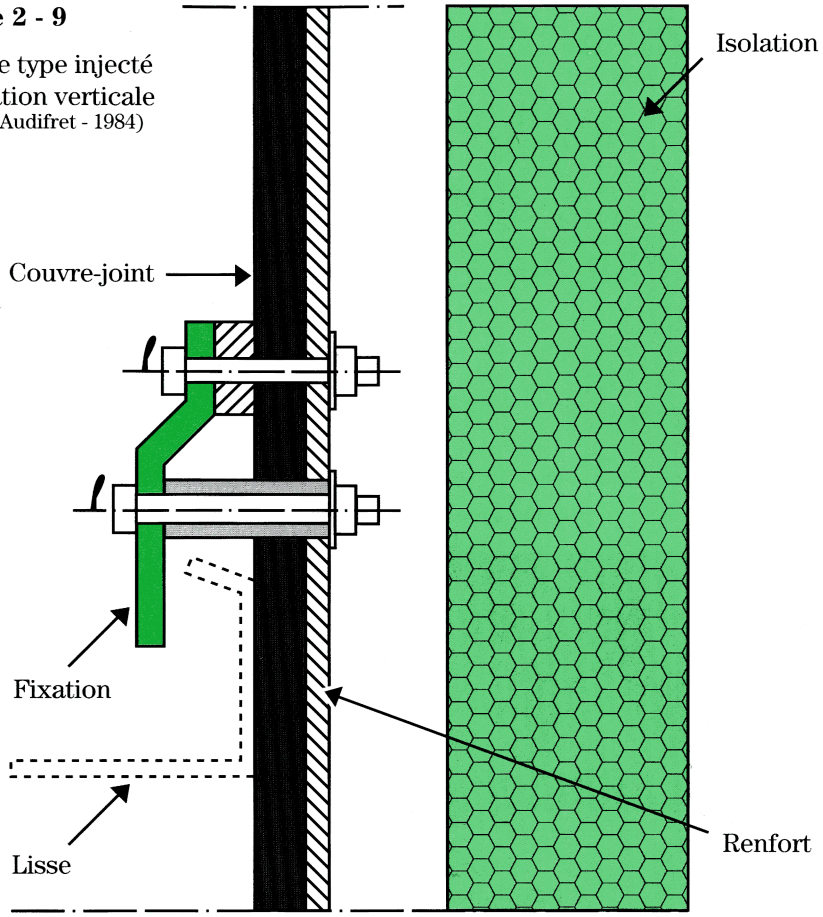


Figure 2 - 9

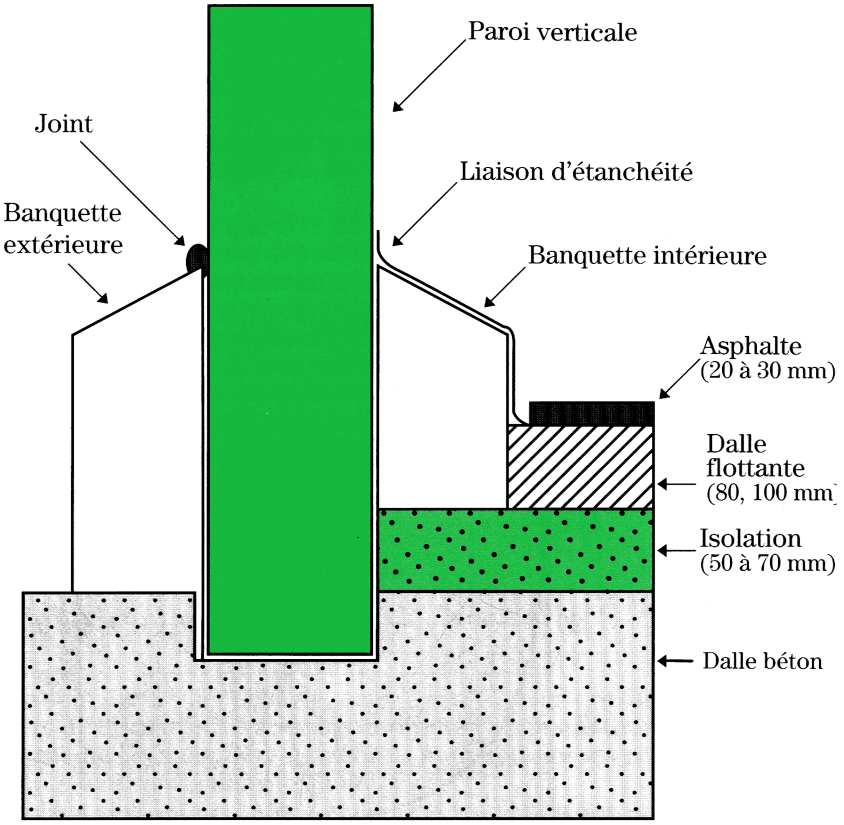
Joint de type injecté
b) Fixation verticale
(d'après Audifret - 1984)



Liaison sol paroi

Une liaison de type "encastrée" est préférable (*figure 2.10*).
Des banquettes de protection avec enduit et joint d'étanchéité sont également à prévoir intérieurement et extérieurement de façon à éviter les infiltrations en bas de paroi, lesquelles peuvent en effet constituer un facteur de vieillissement. Les panneaux verticaux peuvent aussi reposer directement sur le béton de forme. L'ancrage est réalisé par des profilés en équerre directement rivetés au sol.

Figure 2 - 10
Jonction sol paroi / Etanchéité (schéma simplifié)



3 L'isolation du sol

Toujours dans l'objectif de base d'une qualité optimale du produit conservé, l'isolation du sol des chambres froides est recommandée. L'absence d'isolation au sol présente en effet certains inconvénients : le temps de mise en régime de température est allongé du fait des déperditions plus importantes. L'homogénéité des températures au niveau du sol est plus difficilement assurée. Enfin, le contrôle de l'humidité peut être rendu plus difficile du fait d'un allongement de la durée de fonctionnement de l'installation frigorifique.
Les arguments en faveur de la suppression de l'isolation sont d'ordre économique (économie d'investissement, simplification des opérations de dallage).

Figure. 2 - 11

Isolation partielle du sol d'une chambre froide à fruits

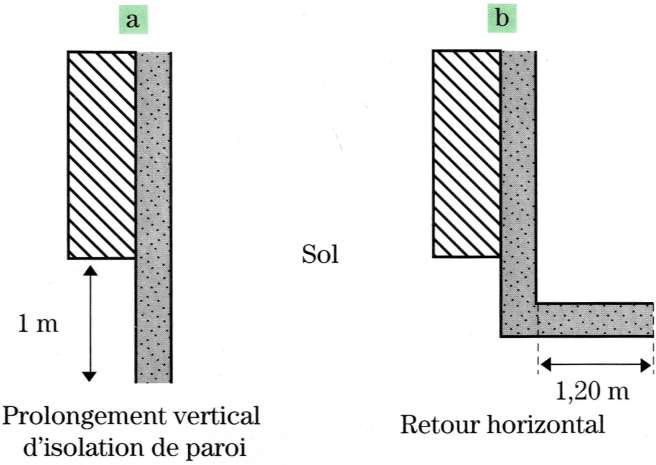
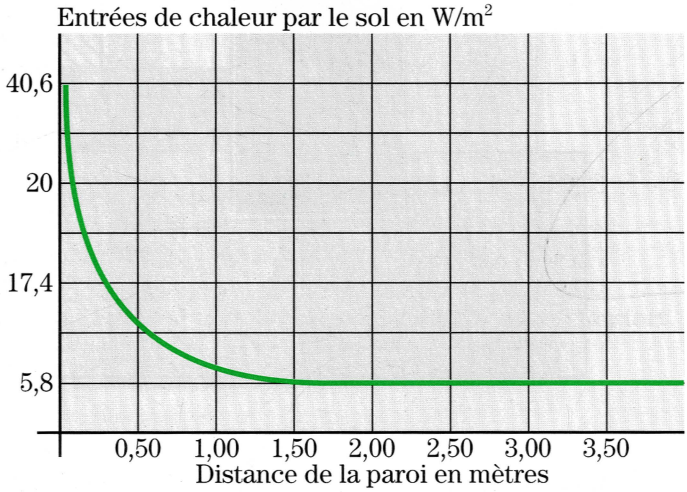


Figure. 2 - 12

Entrées de chaleur par le sol d'une chambre froide à fruits



La réalisation d'une isolation périphérique constitue une solution intermédiaire (*figure 2.11*). Les entrées de chaleur décroissent en effet très rapidement lorsqu'on s'éloigne des parois, pour devenir très faibles et à peu près constantes à partir de 1,20 m (*fig. 2.12*).

4 L'isolation des circuits frigorifiques

L'isolation des circuits frigorifiques vise à limiter les déperditions et à éviter condensation et givrages, facteurs de corrosion. Les phénomènes sont les mêmes que pour les parois, à ceci près que la migra-

tion de la vapeur d'eau est plus grande, car la température des fluides qui circulent est plus basse.
On utilise des isolants classiques, rigides, en coquilles, en mousse de polyuréthanne pour les formes géométriques simples et en injection sous tôle ou gaine plastique, aux coudes, valves et autres espaces inaccessibles.
L'Armaflex, isolant cellulaire flexible, constitue une solution moins onéreuse mais moins efficace en raison des difficultés de pose aux coudes et sur d'autres surfaces complexes.
Des tables permettent de déterminer les épaisseurs anti-condensation nécessaires.
Délicate, la mise en œuvre de l'isolation des circuits doit faire l'objet des plus grands soins depuis le traitement antirouille des tuyauteries, aux caractéristiques des supports, aux espacements nécessaires pour placer l'isolation, souvent oubliés par l'autre corps de métier.
Une bonne isolation d'une tuyauterie d'eau glycolée comprend après nettoyage du métal, une peinture antirouille, une bande grasse, une coquille de mousse de polyuréthanne, une toile textile, une émulsion bitumineuse d'écran pare-vapeur, une tôle d'acier ou d'aluminium, galvanisée ou laquée avec joints silicones.
Le DTU 67.1 de septembre 1990 relatif à l'isolation thermique des circuits frigorifiques comprend 15 pages très complètes sur le sujet.

5 Menuiseries

Un soin particulier est à apporter à toute ouverture ou passage au travers de l'isolation, d'abord pour limiter les ponts thermiques et dans le cas de l'atmosphère contrôlée, pour réduire les rentrées d'air. Ce point sera repris dans le chapitre 4.
Isolées, posées sur bâtis métalliques, les portes doivent être étanches à la vapeur d'eau, à l'air, robustes, légères, indéformables et d'ouverture rapide. Une ouverture libre de 2 m sur 3 à 3,50 permet le passage d'un chariot avec une pile de trois ou quatre pallox avec une marge de manœuvre suffisante. Cette ouverture est généralement disposée au droit de l'évaporateur afin de limiter l'espace mort et de bénéficier d'un chargement homogène. Cette ouverture devra être centrée plutôt que placée en angle comme on le voit parfois. Elle gagne à être munie d'un dispositif d'ouverture automatique pour limiter les entrées d'air chaud, source de givrage en période de remplissage. La réalisation du seuil doit être soignée. Toutes les ouvertures sont désormais de type coulissant. Leur protection par des glissières, voire des portiques, est recommandée.

U L O
Conception intégrale

- Adsorbeurs O_2 (oxygène).
- Adsorbeurs CO_2 (gaz carbonique).
- Adsorbeurs C_2H_4 (éthylène).
- Appareillage d'analyses d'atmosphère.
- Systèmes complets de canalisations de traitement.
- Soupapes de sur- et dépression.
- Tous systèmes complets d'automation par commandes sur ordinateur.
- Enregistrements, tableaux et graphiques, par chambre, en gestion automatique.
- Exécution professionelle du montage et de l'installation des équipements.
- Assistance technique à l'élaboration des projects. Suivi technique pendant l'exploitation.
- Exécution de cours de formation.

DE COMPAGNIE 38 / 1689 AG ZWAAG (PAYS-BAS)

TEL. 31.2290.12154 / FAX. 31.2290.47708

3 LA PRODUCTION DE FROID

Principe de production de froid

Le but de l'entreposage est de ralentir le métabolisme du produit (diminution de son activité vitale) puis de le maintenir à basse température (prolongation de sa survie). L'action du froid sur les pommes et les poires sera précisée dans le tome 2.

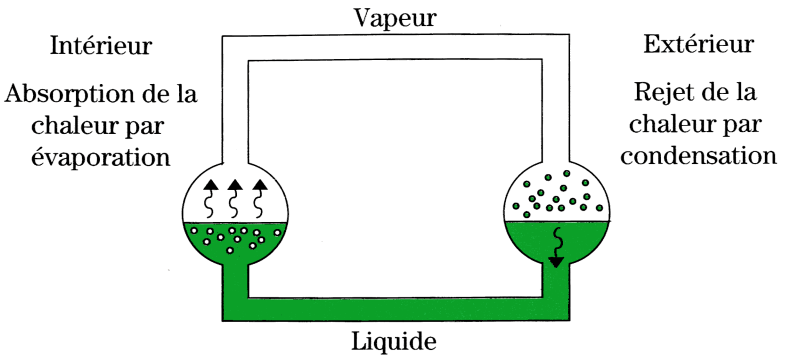
COMMENT PRODUIT-ON DU FROID ?

Produire du froid consiste, à l'aide d'un système frigorifique, à absorber de la chaleur à une température plus basse que celle de la chambre et à la rejeter dans le milieu extérieur, à une température supérieure. Pour ce faire, on joue essentiellement sur les changements d'état d'un fluide pour réaliser les deux opérations d'absorption et de rejet de chaleur.

En effet, le passage de l'état liquide à l'état gazeux nécessite beaucoup de chaleur. Pour transformer un litre d'eau en vapeur, il faut lui fournir 627 W ou 539 kcal. C'est la chaleur latente de vaporisation. Dans le système frigorifique, ce n'est pas de l'eau que l'on utilise, mais d'autres composés naturels (ammoniac...) ou artificiels (chlorofluorocarbones). La vapeur produite est ensuite condensée, ce qui permet le rejet dans le milieu extérieur. Le liquide obtenu peut à nouveau être évaporé. Le système procède ainsi par cycles.

Figure. 3 - 1

Schéma élémentaire de la production de froid



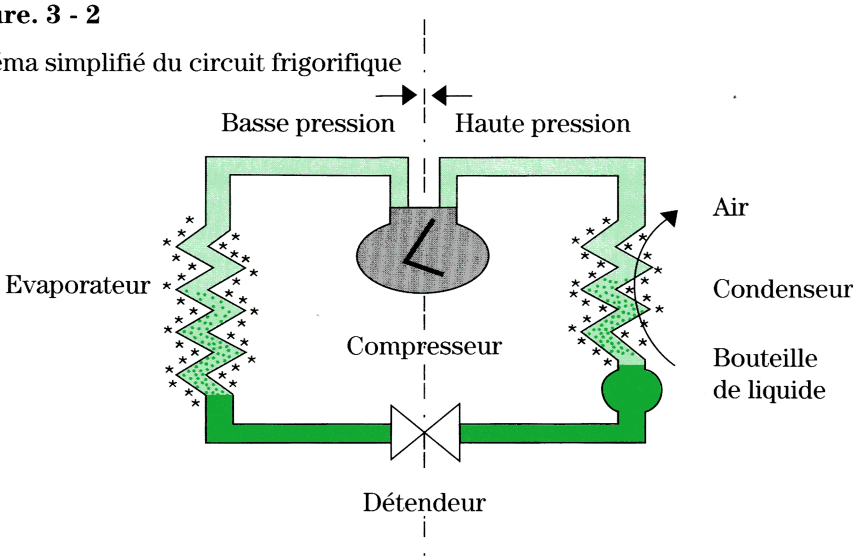
Cependant, pour que le fluide puisse se condenser à la température ordinaire, il faut augmenter sa pression. Dès qu'il s'agit de gaz, les trois paramètres de pression, de température et de volume sont liés. Cette liaison s'exprime par la loi des gaz parfaits avec :

$$\frac{PV}{T} = \text{constante.}$$

Dès que la valeur d'un élément change, les autres le font aussi. Si le volume est constant, la pression et la température du gaz évoluent ensemble. C'est pour cela que les cadrans des manomètres sur les circuits frigorifiques ont des échelles graduées en bars pour la pression et en degrés pour la température. La présence du compresseur s'explique de cette manière : il permet d'aspirer les vapeurs formées, de les comprimer et de les refouler à haute pression pour qu'elles puissent être condensées à la température ordinaire du milieu extérieur. Comme l'évaporation se fait à basse pression, le 4ème et dernier organe du cycle frigorifique est le détendeur dont le rôle est d'abaisser la pression du liquide pour boucler le cycle.
A la division du circuit en deux parties, phase liquide puis phase vapeur du fluide, se rajoutent une partie basse pression (liquide et gaz) et une partie haute pression (également liquide et gaz), selon le changement d'état, de pression et de température du fluide.
Le schéma simplifié des éléments constitutifs d'une machine comprend : un premier échangeur thermique ou aérofrigorifère que nous appellerons dans le cas présent un évaporateur, un compresseur, un deuxième échangeur thermique ou condenseur, un réservoir de liquide, un détendeur, parcouru cycliquement (*figure 3.2*).
En fait, ces appareils nous sont familiers puisqu'on les retrouve dans les réfrigérateurs ménagers. L'évaporateur, c'est le bac à glaçons, le condenseur, la grille noire au dos de l'appareil, le compresseur est à l'arrière en bas dans son enceinte hermétique et le détendeur est un capillaire, mince tuyau qui alimente l'évaporateur.

Figure. 3 - 2

Schéma simplifié du circuit frigorifique



La machine frigorifique

LE CYCLE DU FRÉON®

Pour que la production de froid définie au paragraphe précédent soit plus efficace, on comprime les gaz entre l'évaporateur et le condenseur, et on détend le liquide entre le condenseur et l'évaporateur. Avec une température d'évaporation de - 5°C correspondant à une pression de 4,35 kg/m², le R22 fluide frigorigène courant, permet de produire de l'air à 0°C. La température de condensation est de 40°C, on parle de régime - 5°/+ 40°C.

Il s'agit maintenant de mieux connaître ce qui se passe dans la machinerie frigorifique. Certains choix techniques en dépendent.

1 Les éléments constitutifs

Les valeurs de pression et de température concernent le réfrigérant 22 dont les caractéristiques seront précisées au paragraphe 3.3.

L'évaporateur

Le fluide à l'état liquide s'y vaporise, à basse pression [4,35 kg/cm²] et basse température [- 5°C], en absorbant la chaleur de la chambre. Cette pression d'évaporation et la température correspondante sont constantes.

Le compresseur
Le compresseur élève les vapeurs du fluide frigorigène de la pression d'évaporation [4,35 kg/cm^2] à la pression de condensation [15,79 kg/cm^2]. A cette élévation de pression correspond une élévation de température fonction de la nature du fluide et du taux de compression. Dans le régime - 5°/+ 40°C, la température de condensation est de + 40°C. La température de refoulement s'élève à 80°C avec le R22.
Le condenseur
Les vapeurs à haute pression sont refroidies dans cet échangeur de 80° à 40°C. Elles s'y condensent à la pression de condensation et à sa température correspondante, et rejettent la chaleur vers l'air extérieur. La température de cet air (+ 30°C) est inférieure à la température de condensation. Le liquide est sous-refroidi de quelques degrés, et recueilli dans la bouteille accumulatrice.
Le détendeur
C'est l'organe permettant de régler la quantité de liquide introduit dans l'évaporateur en le détendant par laminage (passage au travers d'une petite section) de la pression de condensation à la pression d'évaporation.

2 L'évolution du fluide frigorigène

Le fluide frigorigène subit des changements d'état selon un cycle relativement simple parfaitement décrit dans le cadre de développements théoriques.
Pour en savoir plus, le recours aux livres plus spécialisés sur le froid est nécessaire (*cf. bibliographie*).

Les fluides frigorigènes

AMMONIAQUE OU FRÉON® ?

Ce sont leurs caractéristiques physiques qui permettent la production de froid. Leur choix dépend aussi de critères techniques, économiques, de sécurité, d'action sur les denrées et sur l'environnement. Ne sont utilisables actuellement (1992), en station fruitière, un réfrigérant halogéné le R22, et pour les plus grosses installations, l'ammoniac, R717.

Les fluides frigorigènes circulent dans une machine frigorifique qui absorbe la chaleur à basse température, et la rejette à une température plus élevée (définition Cecomaf C - 81-10). Ces fluides sont retenus d'abord en fonction de leurs caractéristiques thermodynamiques, capacité à passer de l'état liquide à l'état gazeux et inversement, aux températures usuelles de la réfrigération. Ils sont également sélectionnés sur des critères techniques, action sur les métaux, les matières

plastiques et les huiles, des critères économiques, coût et disponibilité. Sont enfin pris en compte des critères de sécurité, toxicité, inflammabilité, explosibilité, action sur les denrées, action biologique, effet sur l'environnement.
Ils sont désignés par la lettre R pour réfrigérant, suivi d'un numéro. Leur nature est très diverse (*tableau 3.I* - propriétés de quelques fluides frigorigènes). En station fruitière, on en utilise habituellement trois. Deux appartiennent à la famille des fluides halogénés fabriqués depuis 1930 :
• le R12 ou Dichlorodifluorométhane C Cl_2 F_2
• le R22 ou Chlorodifluorométhane C H Cl F_2.
Le R12 est utilisé dans les installations de petite puissance, le R22 dans les installations de grande puissance. Leur dénomination commerciale varie avec le fabricant, Fréon pour Dupont de Nemours, Forane pour Ugine Kuhlmann, Flugène pour St Gobain et Génetron pour Allied Chemical.
Le troisième fluide est un corps organique naturel bien qu'il soit également fabriqué par synthèse. Il est utilisé depuis 1864 en installation frigorifique :
• Le R717 Ammoniac (NH_3).
L'ammoniac (NH_3) rencontre un regain d'intérêt en raison de l'évolution de la législation sur l'environnement. Depuis 1976, celle-ci vise à restreindre voire à interdire l'usage des composés de synthèse susceptible de présenter une action sur la couche d'ozone et l'effet de serre.

Tableau 3.I
Fluides frigorigènes d'après Conan, Eyrolles 1988

Code chiffré R	Appellation chimique	Formule	Masse molaire	Temp. critique °C	Pression critique bar abs	Temp. normale ébullition °C
22	Chlorodifluorométhane	$CHClF_2$	86,48	+ 96	49,8	- 40,75
717	Ammoniac	NH_3	17,03	+ 133	114,25	- 33,33
12	Dichlorodifluorométhane	CCl_2F_2	120,93	+ 112	41,16	- 29,8
718	Eau	H_2O	18,02	+ 374,2	221,2	+ 100

1 Critères thermodynamiques

La pression d'évaporation doit être modérément faible et supérieure à la pression atmosphérique. La température critique doit être beaucoup plus élevée que la température de condensation. La production frigorifique volumique doit être élevée, le volume massique de la vapeur, faible, ainsi que le taux de compression *(tableau 3.III)*.

2 Critères techniques

L'action sur les métaux a son importance puisque le fluide circule à l'intérieur d'une enceinte métallique. Il y a un grand interdit : l'usage du cuivre et de ses alliages est incompatible avec l'ammoniac. Les installations réalisées avec des fluides halogénés sont en cuivre. Il est donc impossible d'utiliser de l'ammoniac dans une installation non conçue à l'origine pour ce fluide.
L'action sur les élastomères et les matières plastiques est également à considérer, les fluides pouvant les dégrader, par leur action propre ou en mélange avec l'huile. Les PTFE (polytétrafluoroéthylène) ou Téflon (Dupont de Nemours) sont les moins sensibles. Cette question est de grande importance avec les échangeurs à plaques.

- Le comportement vis à vis des huiles de graissage

L'ammoniac est très peu miscible avec les huiles de graissage, les composés halogénés présentent à cet égard des comportements variables. Ils sont en général très miscibles, ce qui, en grande installation, demande une réalisation soignée des tuyauteries, en raison de difficultés de retour d'huile.

- Le comportement vis à vis de l'eau

L'ammoniac et l'eau ont une grande affinité, cette propriété est justement utilisée dans les machines à absorption. Il est donc conseillé de ne pas en introduire car la pression d'évaporation va baisser, la pression de condensation va augmenter, la puissance frigorifique est réduite et le rendement énergétique diminue.
Avec les fluides halogénés, il y a formation d'hydrates, voire de blocs de glace pouvant bloquer les organes de détentes. Il y a également corrosion du cuivre. Des déshydrateurs limitent les effets de l'eau.

- L'aptitude aux fuites

Elle dépend principalement des différences de tension superficielle des fluides frigorigènes et des mélanges huiles-fluides frigorigènes. Les valeurs de tension sont plus faibles avec les fluides halogénés et ils tendent à s'échapper plus facilement que l'ammoniac qui forme un film capable de boucher les porosités du circuit.
L'odeur caractéristique de ce dernier permet de détecter de très faibles fuites alors qu'il faut recourir à des détecteurs (lampes haloïdes) pour les fluides halogénés. Ce critère sera revu avec la notion de sécurité.

3 Critères économiques

Ce sont ceux de coût, à la fois pour l'investissement initial et pour les recharges en cours de fonctionnement. L'ammoniac est bien meilleur marché que les fluides halogénés, de l'ordre de 5 fois moins cher.
La disponibilité est un élément qui peut devenir préoccupant avec l'évolution de la législation, le délai de mise au point et de fabrication en quantité suffisante de fluides de remplacement.

4 Critères de sécurité

La sécurité devient primordiale, elle contraint à des mesures draconiennes débouchant sur la remise en cause de fluides jusqu'ici très répandus, répondant par ailleurs à des critères techniques et économiques très satisfaisants.

Toxicité

Il s'agit de l'effet immédiat du produit sur l'homme. Deux classements existent, le classement universel à 6 classes des Underwriter Laboratories, d'origine américaine et la norme française NFE 35-400 à 3 groupes seulement, associant toxicité et inflammabilité. Les fluides halogénés sont classés dans le groupe 1 de toxicité nulle ou minime et ininflammables avec une teneur volumique limite de 10 % dans l'air. Ils sont répertoriés dans la classe 5 (USA) c'est à dire toxiques pour des expositions supérieures à 2 heures à des teneurs entre 2,5 et 20 % en volume. Inodores, ils présentent un effet narcotique à haute dose, non perceptible. Leur accumulation dans une enceinte close, cas d'une chambre étanche d'atmosphère contrôlée, peut entraîner la mort par anoxie, c'est à dire par privation d'oxygène. En effet, en cas de fuite, ils vont stagner près du sol où leur présence est imperceptible. D'autre part, en présence d'arc électrique, il peuvent se décomposer et former du phosgène, gaz de combat mortel. Après une fuite, il faut ventiler et attendre avant de souder ou de créer des arcs électriques.

Tableau 3.II Effet de la concentration au NH_3, Vrinat, R.G.F. 1990

Concentration en ammoniac	Effet
5 ppm	Détection olfactive minimum
20 ppm	Irritation nasale
25 ppm	limite de moyenne exposition
50 ppm	Valeur limite indicative dans le lieu de travail
2000 ppm	Intervention des détecteurs
5000 ppm	Action caustique sur les tissus
30 000 ppm (3 %)	Dose mortelle
160 000 ppm	Limite inférieure d'explosibilité
250 000 ppm	Limite supérieure d'explosibilité

L'ammoniac est dans le groupe 2 des fluides dont la toxicité est la caractéristique dominante, il est également inflammable et peut être explosible. Il est répertorié en classe 2 dans l'échelle américaine car, pour un homme, trente minutes d'exposition à une concentration de 0,5 à 1 % en volume provoquent la mort en rendant aveugle. Il se fixe sur les muqueuses qu'il détruit en se solubilisant à l'eau. Un masque filtrant et des gants sont par conséquent indispensables pour toute opération de vidange. Dans le cas d'une projection de NH_3 liquide sous

pression, il est conseillé de laver les yeux avec de l'huile pure et de l'eau boriquée à 3 % avant de consulter le médecin. L'huile permet de réduire la destruction de la cornée par la congélation, l'eau boriquée neutralise l'ammoniac solubilisé.
Heureusement, l'ammoniac est très facilement détectable par l'odorat à des doses très faibles de l'ordre de 5 ppm (partie par million). Dans une chambre de 1000 m^3, l'homme détecte par son nez la présence de 5 dm^3 soit 5 litres dispersés dans ce volume ou 19 g de NH_3.

L'inflammabilité

L'ammoniac est inflammable et peut exploser à des valeurs comprises entre 16 et 25 % en volume.
Ce n'est pas le cas des fluides halogénés dont certains, comme le R12, sont utilisés comme extincteurs. Mais le R22 dont la composition renferme encore un atome d'hydrogène ne l'est pas complètement.

L'action sur les denrées

Le fluide frigorigène n'est pas normalement destiné à entrer en contact avec les denrées entreposées. Cela ne peut être qu'accidentel lors de fuites. Par son action caustique, l'ammoniac entraîne des détériorations (brûlures) sur les pommes et les poires, à partir de l'ordre de 5000 ppm. En présence d'eau liquide, les dégâts sont aggravés par des modifications de goût, puis la mort du fruit. En cas de fuite massive et durable, il y a peu de chances de sauver le produit. La ventilation pour évacuer l'ammoniac, l'eau au sol pour l'absorber, le CO_2 pour le neutraliser, ne sont des solutions envisageables que sur des produits congelés, déjà morts et protégés par leur emballage.

Action sur l'environnement

L'action sur l'environnement tend à devenir le critère principal de sélection des fluides frigorigènes. Depuis l'énoncé de la théorie de l'action des CFC (chlorofluorocarbonés) (en 1975) sur la couche d'ozone et les conférences internationales de Vienne en 1985, Montréal en 1987 et Londres en 1990, des dispositions restrictives d'emploi et de fabrication, avant interdiction, ont été adoptées. Il est cependant nécessaire de préciser qu'en 1986, pour une production annuelle d'environ 1 million de tonnes de CFC, 49 % étaient utilisés dans les aérosols, 30 % à la fabrication des isolants, 12 % comme solvants et les 9 % restant, dans l'industrie frigorifique où ils restent, en général, à l'intérieur de circuits étanches.
Classé dans la catégorie des CFC, le R12 ne peut plus être envisagé dans une installation neuve. Le R22 est un HCFC puisque sa molécule contient encore un atome d'hydrogène. Il appartient au groupe des fluides de transition dont il est envisagé l'élimination au plus tard en 2040 et si possible en 2020.
D'autres substituts sont envisageables mais avec des caractéristiques économiques moins favorables, en matière de coût et de disponibilité. Les paramètres techniques, voire thermodynamiques seraient également inférieurs. Toutes ces conditions expliquent un retour en force de l'ammoniac.
Certains des inconvénients de l'ammoniac peuvent être minimisés en confinant son usage à la salle des machines et en utilisant un fluide intermédiaire pour réaliser l'échange de chaleur avec la chambre froide. Ce fluide intermédiaire est le frigoporteur.

Tableau 3.III
Eléments de comparaison entre ammoniac et R22 d'après Duminil, IFFI, 1968

PROPRIÉTÉS	AMMONIAC, NH_3	RÉFRIGÉRANT 22, HCF_2Cl
1.1 - Critères thermodynamiques		
Température d'ébullition normale, θ_{eb}	- 33,35 °C	- 40,75 °C
Température critique, θ_{cr}	+ 132,40 °C	+ 96 °C
Tension de vapeur • à - 15 °C p_1 • à + 30 °C p_2	2,41 kgf/cm² abs 11,895 "	3,03 kgf/cm² abs 12,4 "
Taux de compression = $\frac{p_2}{p_1}$	4,936	4,69
$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$	1,312 L'ammoniac s'échauffe beaucoup	1,19 Le R22 s'échauffe peu
Product. frigorif. volumét. spécifique frigorie / m³ -15, +30 ; pas de sous-refroidissement, pas de surchauffe	517,6 fg/m³ Très grande valeur ⇒ compresseurs de petits débits	536,0 fg/m³
Chaleur de vaporisation à -15°C Kcal/kg	213,5	51,83
1.2 - Critères techniques		
• Stabilité chimique	Bonne si pas de mercure	Bonne jusqu'à 400 °C si acier ou cuivre
• Action sur les métaux	Pas de cuivre ni d'alliages cuivreux	Pas de magnésium
• Action sur matières plastiques et élastomères	Généralement pas de difficultés	Action sur certains élastomères.
• Action sur les huiles	Pas d'huiles saponifiables; non miscible à l'huile	Miscible à l'huile
• Comportement en présence d'eau	Base forte ⇒ corrosion	Hydrates, bouchages
• Efficacité des échanges thermiques	Très grande	Faible
• Aptitude aux fuites - Détection - Localisation - Débit liquide	Faible - Odeur - Mèche soufrée ou baguette avec HCl, fumées Papier à la phtaleïne de phénol - Assez faible, petites conduites	Très grande - Difficile (peu odorant) - Lampe haloïde - Fort, grosses conduites
1.3 - Critères économiques		
Prix au kg 1992	12,50 F H.T.	87,20 F H.T.
1.4 - Critères de sécurité		
• Toxicité	Très toxique (catégorie 2)	Peu toxique (catégorie 5)
• Inflammabilité	Inflammable (difficilement cependant) : 17 à 25 % dans l'air	Très peu inflammable
• Action sur les denrées périssables	Très forte (affinité de l'eau des denrées pour NH_3)	Pratiquement nulle

Les fluides frigoporteurs

TRANSFERT DE FROID PAR UN FLUIDE INTERMÉDIAIRE

Il s'agit de fluides intermédiaires de transfert de chaleur qui permettent de confiner le fluide frigorigène en salle des machines et de faire fonctionner de façon simple, pratique et efficace, les batteries froides dans les chambres (l'eau glycolée).

Du fait de sa petite taille, notre station ne peut utiliser que le R22

Un frigoporteur est le fluide utilisé pour transférer la chaleur des produits ou des milieux à refroidir, à la machine frigorifique (C81-20). Il reste à l'état liquide. Il doit avoir de bonnes qualités de conduction de la chaleur sous un faible volume pour diminuer les besoins de pompage nécessaires à sa circulation. Il doit répondre aussi à des critères techniques, de viscosité, de conductibilité... et à des critères de sécurité.

L'eau est bien sûr le moins coûteux et le plus courant des frigoporteurs. Son usage est très fréquent en climatisation, mais elle gèle à 0°C. Ce qui fait que l'on trouve dans les stations fruitières du monopropylène glycol inhibé, non toxique et non corrosif. Il est sans action sur l'homme et les denrées d'où il peut être éliminé par simple lavage.

Les systèmes de réfrigération

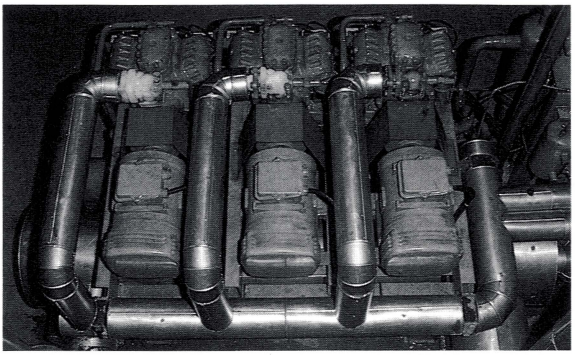
DÉTENTE DIRECTE OU TRANSPORT DE FROID

La réfrigération indirecte, avec un fluide frigoporteur, n'apparaît justifiée que pour d'assez grosses installations, à partir de 2 000 tonnes environ, en raison de l'augmentation du coût d'investissement et de fonctionnement, malgré l'intérêt de sécurité, et de facilité de régulation du climat de la chambre.

Deux schémas sont possibles. La réfrigération directe constitue une première option. Elle correspond au schéma simple décrit dans la *figure 3.3*. Le fluide frigorigène circule dans l'échangeur thermique placé dans la chambre où sont les pommes à refroidir et à maintenir en température.

La réfrigération indirecte constitue la deuxième possibilité. Un fluide frigoporteur circule dans l'échangeur de la chambre et il est refroidi dans un autre échangeur, placé en salle des machines, où circule le fluide frigorigène.

Le choix entre les deux dispositifs génère des répercussions de tous ordres, sur la conception, le prix de l'installation, son mode et son coût de fonctionnement.



Centrale à trois compresseurs à piston ouvert et échangeur R22/eau glycolée

Figure. 3 - 3

Schéma simplifié d'une réfrigération directe et indirecte

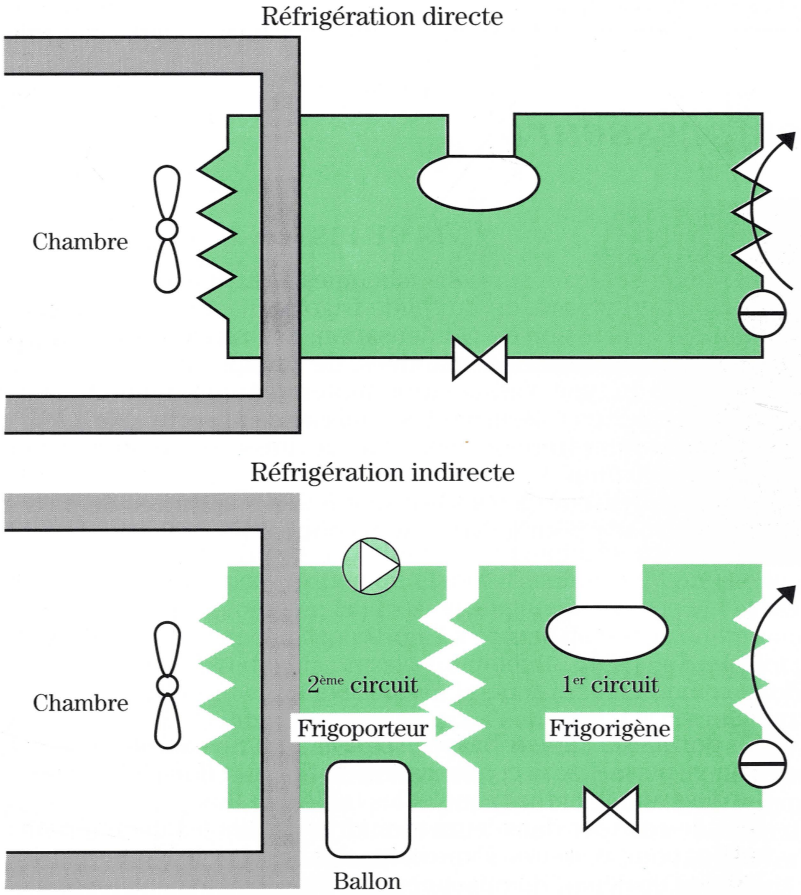


Tableau 3.IV Comparaison des deux systèmes de réfrigération

	Réfrigération directe	Réfrigération indirecte
Ecart de température	simple	double
Régime des compresseurs	variable	stable
Volant thermique	nul	volume du ballon
Mise en régime	rapide	lente
Quantité de fluide	élevée	faible
Risque de fuites	danger avec NH_3	limité, salle des machines
Régulation	souple	très souple
Distance évaporateur	limitée	indifférente
Investissement	réduit	plus élevé (20 %)
Fonctionnement	réduit	plus élevé
Répercussion sur le produit	importante	faible

Compresseurs

VIS OU PISTON ?

Les compresseurs sont des machines à pistons ou à vis destinées à augmenter la pression du fluide frigorigène, de la pression d'évaporation à la pression de condensation. Leurs critères de choix dépendent des puissances demandées, de l'adaptation aux variations de celles-ci, du type d'association moteur/compresseur, de leur robustesse, fiabilité et sécurité. Une puissance absorbée de 1 kW correspond à la fourniture de 2500 fg/h. La vitesse de rotation est en général de 1450 t/mn.
Les compresseurs à vis s'utilisent à des puissances de plus en plus basses. 30 kW pour le NH_3, moins pour le R2.

1 Généralités

En portant la vapeur basse-pression à un niveau élevé, le compresseur va permettre la condensation du fluide et donc le rejet de chaleur. Le diagramme enthalpique et les tables du fluide frigorigène permettent de calculer dans leurs moindres détails les caractéristiques du ou des compresseurs. Expression des besoins, le bilan frigorifique est le point de départ du raisonnement. Plus simplement, on part souvent

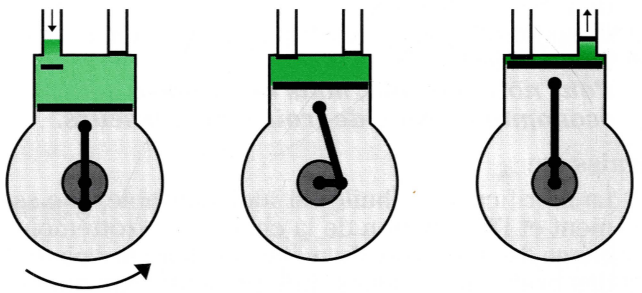
de ce bilan pour rechercher dans les catalogues des constructeurs le compresseur fournissant la puissance requise au régime considéré, - 5°/+ 40°C. Le nombre de compresseurs est déterminé à ce stade. Ce choix doit prendre en compte les besoins maximum, à la rentrée des fruits et les besoins beaucoup plus faibles du régime de conservation (de l'ordre de 20 %). Il est bien évident que toute machine fonctionne bien à son régime nominal prévu. Dès que l'on s'écarte de ces conditions, les performances se dégradent, notamment le rendement énergétique. Le choix judicieux du nombre de compresseurs permet d'adapter, de répartir leur puissance, de prévoir des dispositifs de réduction de puissance et un bon système de régulation. De la qualité de ce choix, dépend la régularité de marche de l'installation, sa fiabilité, sa sécurité et son moindre coût de fonctionnement.

2 Compresseurs à pistons

Comment fonctionnent t-ils ?

Figure. 3 - 4

Schéma de fonctionnement du compresseur à piston



Les vapeurs du fluide frigorigène sont aspirées dans un cylindre, comprimées par un piston, puis refoulées à l'extérieur. Lorsque le piston est à son point mort bas, le cylindre se remplit de gaz à la pression d'évaporation p_0, par l'orifice du clapet d'aspiration. Lorsque le piston commence à remonter, la pression augmente légèrement et assure la fermeture du clapet d'aspiration. La course du piston continuant le volume du gaz se réduit, la pression augmente. Lorsqu'elle atteint une valeur très légèrement supérieure à la pression de condensation, le clapet de refoulement s'ouvre, le gaz s'échappe. Le piston s'arrête avant la tête de cylindre, laissant un petit espace mort obligatoire. Le piston redescend, le clapet de refoulement se ferme, le clapet d'aspiration s'ouvre à nouveau dès que la pression est devenue inférieure à la pression d'évaporation .Un nouveau cycle s'enchaîne. Le fonctionnement est cyclique et alternatif. Le mouvement de rotation de l'arbre moteur d'entraînement est transformé en mouvement alternatif par

le système mécanique bielle-manivelle, l'arbre étant un vilebrequin. Un compresseur comprend plusieurs cylindres qui peuvent être disposés en lignes, en étoile, en V ou en W.
Espaces morts, pertes de charges du gaz dans les trajets, effets de parois, défauts d'étanchéité des segments et des clapets, pertes de charges des clapets réduisent le rendement volumétrique. Les frottements diminuent le rendement mécanique. Généralement élevé, de 0,8 à 0,9 il peut se dégrader à 0,4 ou 0,5 voire 0,2 quand le couple descend à 15 - 20 % de sa valeur normale. 1 kW de puissance électrique absorbée correspond à une production de 2000 à 2500 fg/h.

Nous choisissons trois compresseurs à pistons, Comef type 8CC 68, pouvant fournir 58 000 fg/h au régime -5°C / + 40°C.

Variation de puissance

Outre le nombre et la puissance des compresseurs, d'autres dispositifs permettent de faire varier la puissance de compression. La mise hors service d'un ou plusieurs cylindres est la solution la plus fréquemment utilisée. Cette mise hors service peut être obtenue par court-circuit (by-pass) aspiration-refoulement. Une vanne magnétique actionne un piston entre le collecteur de refoulement et augmente l'aspiration. C'est un pis-aller, la puissance absorbée reste constante et la température de refoulement augmente. Il est également possible de renvoyer les gaz refoulés à l'aspiration en maintenant le clapet d'aspiration ouvert. Ces dispositifs peuvent être utilisés lors du démarrage à vide.

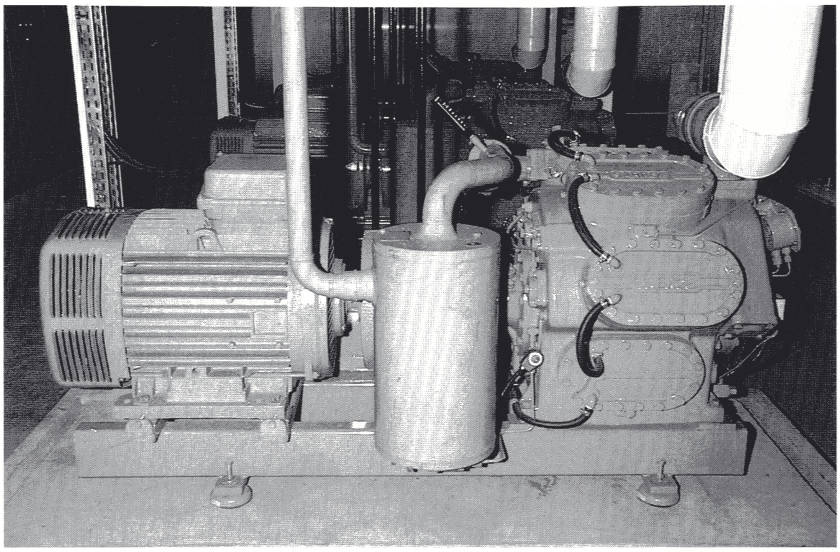
Pour notre station, nous retenons la solution la plus simple et économique, celle de trois compresseurs.

Graissage

La lubrification d'huile est indispensable, elle assure le refroidissement et l'évacuation de la chaleur de frottement, l'étanchéité (bouchage de la porosité du métal et le long des pistons), l'amortissement des bruits mécaniques. Elle présente également des inconvénients, interaction avec le fluide frigorifique et entraînement dans les évaporateurs, ce qui diminue les échanges. Le contrôle de l'huile fait partie des opérations de maintenance préventive pour la longévité et le bon fonctionnement de l'installation.

Association moteur compresseur

Les compresseurs à piston peuvent être distingués suivant les possibilités d'association moteur/compresseur. Moteur et compresseur peuvent être complètement séparés, c'est la règle dans les grandes puissances. On parle de compresseurs ouverts. Lorsque pistons, embiellage, vilebrequin et autres dispositifs de lubrification sont accessibles dans un même carter de fonte, ils sont appelés semi-hermétiques. Dans le cas de très faibles puissances, jusqu'à 15 cv environ, moteurs et compresseurs sont enfermés dans une enceinte en tôle d'acier. On parle alors de compresseurs hermétiques, c'est le cas de réfrigérateurs ménagers. Dans les compresseurs hermétiques ou semi-hermétiques, le fluide frigorigène à l'aspiration assure le refroidissement du moteur, ce qui entraîne une surchauffe inutile. Mais cette solution est économique à l'investissement.



Compresseur ouvert, à 8 cylindres, réduction de puissance, à l'ammoniac

Nous avons retenu l'option compresseur ouvert, avec un moteur électrique de 30 kW (40 cv) à 1450 t/mn. Solution classique et éprouvée.

3 Compresseurs à vis

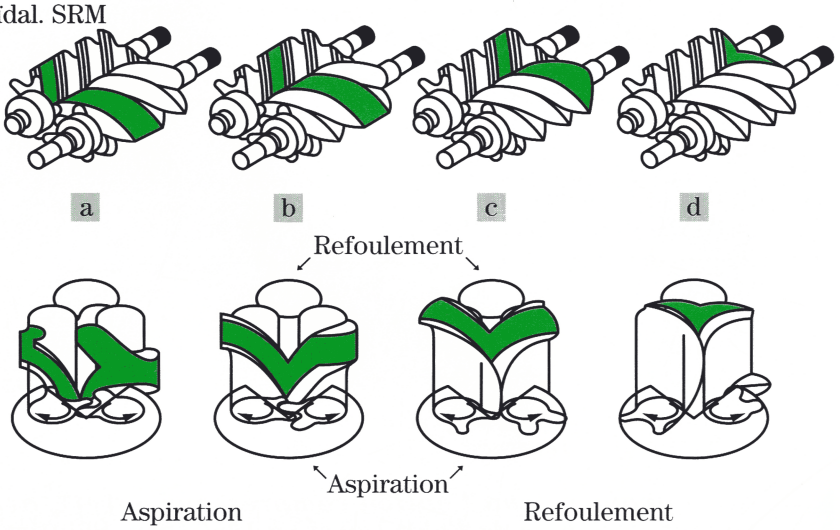
Fonctionnement

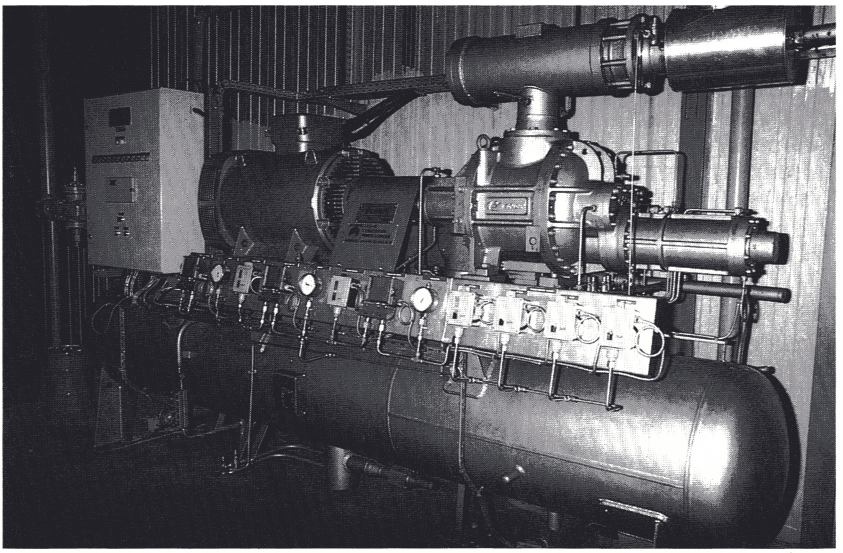
Dans ces hélico-compresseurs, la compression de gaz est obtenue par déplacements relatifs de deux rotors au sein d'un cylindre et réduction longitudinale du volume de gaz. Les rotors présentent des profils conjugués, l'un avec des lobes (mâle) l'autre avec des alvéoles (femelle). Ils sont décalés dans l'axe suivant une hélice à pas constant d'où leur nom. (Il existe également des compresseurs monovis à satellites type Zimmern.) Au cours de la rotation, le gaz admis dans l'axe de la machine est emprisonné entre le rotor mâle et le rotor femelle. L'alvéole va se fermer par déplacement, puis le lobe va y pénétrer, réduisant le volume, jusqu'au taux de compression interne. Le volume restant va s'ouvrir dans la lumière de refoulement, libérant l'alvéole par départ du lobe pour un nouveau cycle (*figure 3.5*).
L'admission et le refoulement ne comportent pas de clapets, le fonctionnement est continu.
Le rendement volumétrique et le rapport de compression sont très bons avec ce type de machine.

Figure. 3 - 5

Phases de fonctionnement d'un compresseur hélicoïdal. SRM

d'après Conan 1988





Compresseur ouvert, à vis, réduction de puissance, au R22

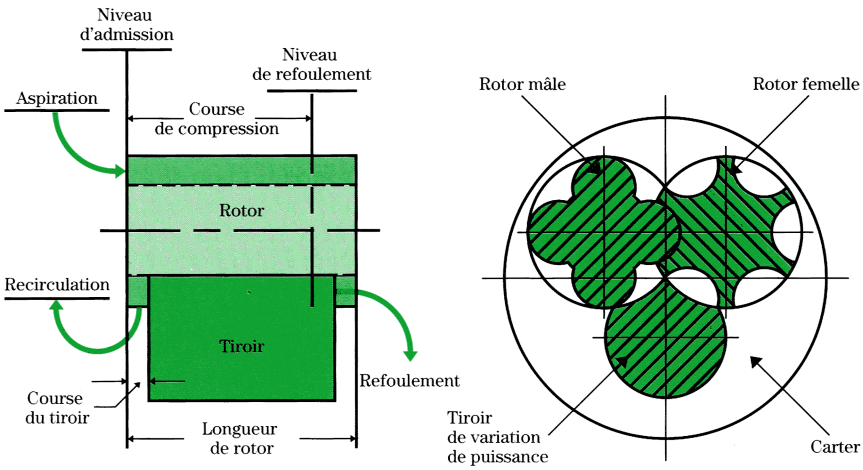
Nous n'avons pas retenu de compresseur à vis car ils correspondent à une gamme de puissance trop élevée pour nos besoins.

Variation de puissance

La variation de puissance est obtenue par un tiroir coulissant. Il agit en réduisant la longueur de rotor utilisable pour la compression. Il permet une variation de puissance continue de 100 à 10 %. Ce dispositif permet également le démarrage à vide. Les compresseurs à vis peuvent également comporter un système économiseur qui consiste en une injection de liquide qui se vaporise en refroidissant le débit principal. Ce dispositif est intéressant pour les taux de compression élevés (*figure 3.6*).

Figure. 3 - 6

Principe de fonctionnement
du tiroir de variation de puissance
d'un compresseur à vis (d'après Conan 1988)



Graissage

La rotation des éléments exige un refroidissement et une étanchéité assurés par une lubrification importante. Le système est complexe et dépasse en encombrement la machine elle-même avec refroidisseur, séparateur d'huile, pompe, filtre, régulation de pression. La pression d'huile est supérieure ou voisine de la pression de condensation et sert aussi à manœuvrer le tiroir de puissance.
On retrouve la même distinction qu'avec les machines à pistons en compresseur, ouvert, semi-hermétique et hermétique.

4 Comparaison pistons et vis

Actuellement, les plages d'utilisation de puissance des compresseurs à pistons ou à vis, se recoupent largement. Cette plage est plus étendue

vers le bas pour les compresseurs à pistons, mais elle tend à se réduire. Le choix n'est pas tranché entre une solution ou une autre, il doit s'effectuer en gardant quelques règles et caractéristiques présentes à l'esprit.
Un compresseur à pistons est limité à des taux de compression peu élevés, ce qui est gênant avec l'ammoniac. Il est particulièrement sensible à entraînement de liquide à l'aspiration, surtout si l'installation n'a pas de bouteille anticoup de liquide. Ses performances diminuent notablement avec la baisse de la pression d'évaporation. La variation de puissance est discontinue. Le principe du mouvement alternatif est générateur de fortes contraintes mécaniques, donc de besoins d'entretien et de réparation.
Un compresseur à vis permet de forts taux de compression, avantageux avec l'ammoniac (de telles machines ont cependant une puissance minimum de 30 à 40 kW avec ce fluide). Il accepte plus facilement les entraînements de liquide. Sa régulation de puissance est continue dans une large plage. Ce qui le rend particulièrement intéressant pour remplacer plusieurs compresseurs à pistons. Machine rotative, les contraintes mécaniques sont moindres, ce qui augmente notablement sa longévité et diminue sa maintenance (entretien et réparations). Son niveau sonore est particulièrement élevé.
Le raisonnement de l'investissement reste donc à faire au cas par cas, à la fois dans le nombre et le type de compresseurs. Il ne faut pas négliger la sécurité conférée par la disposition de deux machines plutôt que d'une seule. Il ne faut pas oublier non plus la grande différence de besoins entre la période de rentrée des fruits et la période de conservation. La taille du projet est aussi un élément déterminant.

Cette comparaison constitue le justificatif de notre choix, un peu obligé parce que notre projet est trop petit pour justifier l'utilisation d'un compresseur à vis de type industriel.

Condenseurs

QUEL CHOIX ? CONDENSEUR À AIR OU ÉVAPORATIF ?

Le condenseur est l'échangeur thermique où le fluide frigorigène passe de la phase gazeuse à la phase liquide en cédant de la chaleur au milieu extérieur, air ou eau. Avec les condenseurs à air, l'échange demande une grande surface et un débit important. Avec l'eau dont le coefficient d'échange est meilleur, il faut que celle-ci soit traitée et bon marché. Le condenseur évaporatif constitue une solution mixte adaptée aux moyennes et grandes puissances. Il combine les avantages des deux systèmes précédant tout en limitant leurs inconvénients.

1 Fonctionnement

Le gaz comprimé est refoulé dans le condenseur où le fluide frigorigène passe de l'état gazeux à l'état liquide. Cette opération permet de

rejeter vers le milieu extérieur la chaleur prélevée dans la chambre. Ce milieu extérieur est constitué d'un fluide refroidissement, air ou eau.
La chaleur à évacuer provient pour une fraction de la "désurchauffe", pour une grande part de la condensation et pour une petite part de sous-refroidissement. Le rapport global se résume à 5/90/5, exprimé en %.
L'essentiel de la chaleur, les 90 % correspondent à la production frigorifique à l'évaporateur, à laquelle s'ajoute l'équivalent chaleur du travail de compression.
Le condenseur est un échangeur thermique tout comme la batterie froide, placée dans la chambre. Il doit donc offrir un bon coefficient de transmission de chaleur. La surface d'échange et l'écart de température vont déterminer ses performances.
La chaleur doit franchir plusieurs obstacles avant de pouvoir être échangée. Par convection, la chaleur transite d'abord du fluide vers le film d'huile qui tapisse l'intérieur du tube. De là, elle doit traverser le tube, puis le tartre (condenseur à eau) ou les poussières (condenseur à air) pour enfin rejoindre l'eau ou l'air..
L'obstacle de l'huile est minimisé par l'action du séparateur d'huile, celui du tartre et des poussières par l'entretien. Un facteur d'encrassement doit de toutes façons être pris en compte lors de l'étude et du dimensionnel, en diminution de la valeur de K. L'échange de chaleur suppose des différences de températures. Le fluide frigorigène se condense à température constante, c'est donc à partir de celle-ci que sont comptés les écarts. Le fluide de refroidissement arrive à une température d'entrée faible, ce qui correspond à un écart maximum. Cette différence s'amenuise d'abord très vite, puis plus lentement ce qui se traduit mathématiquement par une évolution logarithmique. A la sortie, l'écart est minimum.
Il est de l'ordre de 10 et 5°C avec de l'eau et de 15 à 8°C sur l'air.

2 La classification des condenseurs est la suivante :

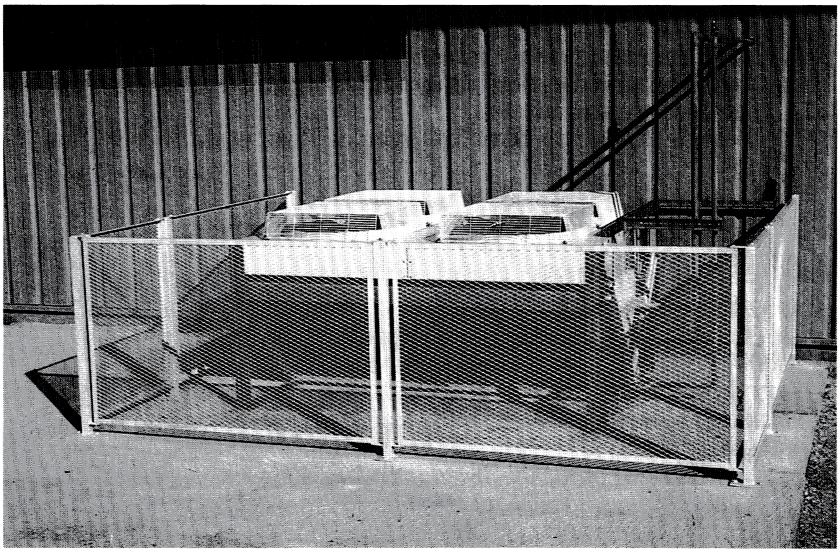
Tableau 3.V

CONDENSEUR	A chaleur sensible	Air	Circulation d'air naturelle	10 K
			Circulation d'air forcée	25 K
		Eau	Immersion	250 K
			Double tube et contre-courant	800 K
			Multitubulaire horizontal	1000 K
	A chaleur latente	Atmosphérique	Multitubulaire vertical	1200 K
			Ruissellement simple	250 K
			Ruissellement et contre-courant	1000 K
		Evaporation forcée	Evaporatif	300 K

La première distinction entre condenseurs s'opère au niveau du choix d'une utilisation ou du réchauffement du fluide de refroidissement (en jouant sur sa chaleur sensible) ou de l'utilisation du pouvoir d'absorption de la chaleur de l'évaporation de l'eau (en jouant sur la chaleur latente).
Les réfrigérateurs ménagers constituent un exemple de condenseur à chaleur sensible, à air et circulation d'air. Ses performances sont médiocres en égard à la faible valeur du coefficient K. Celui-ci peut être multiplié par 2,5 avec un ventilateur, ce qui est le cas de la solution usuelle en station fruitière avec un fluide halogéné. Les condenseurs évaporatifs utilisés pour l'ammoniac sont plus performants, les multitubulaires le sont encore plus. Intéressante si mise en œuvre à eau perdue, cette dernière solution l'est moins s'il faut refroidir l'eau avec une tour de refroidissement.

3 Les condenseurs à air

L'air est un mauvais conducteur de la chaleur, aussi, en faut-il un grand volume, sur une grande surface, pour assurer la condensation du fluide frigorigène. Ces inconvénients sont compensés par sa disponibilité et sa gratuité.



Condenseur à air, avec grille de protection, au R22

Le condenseur à air est un ensemble de tubes métalliques (cuivre pour le R22, acier pour le R717) de 10 à 20 mm de diamètre intérieur, disposés en serpentins, avec collecteurs de distribution de vapeur et collecteur de recueil du liquide condensé. Afin d'augmenter la surface

d'échange, ils sont munis d'ailettes distantes de 1,5 à 4 mm. La disposition des circuits et des passages d'air détermine l'efficacité et le choix des ventilateurs. La circulation de l'air de bas en haut, en courants croisés avec le fluide passant dans des nappes obliques ou horizontales, constitue la solution la plus fréquente.
Par asservissement à un pressostat, la diminution du nombre de ventilateurs permet de moduler la puissance obtenue. L'entretien des condenseurs à air est faible, mais il importe de veiller à leur nettoiement. Le colmatage des ailettes par des feuilles ou des poussières affecte le rendement.
Nous retenons pour nos besoins, un condenseur à air, solution simple et peu coûteuse, de référence C3 AH-D et de type 6M.03, ayant une puissance frigorifique de 297 220 Kcal/h sous dt de 15°C. Il présente une surface de 742 m² avec un débit d'air de 99000 m³/h, pour un volume interne de 136 dm³.

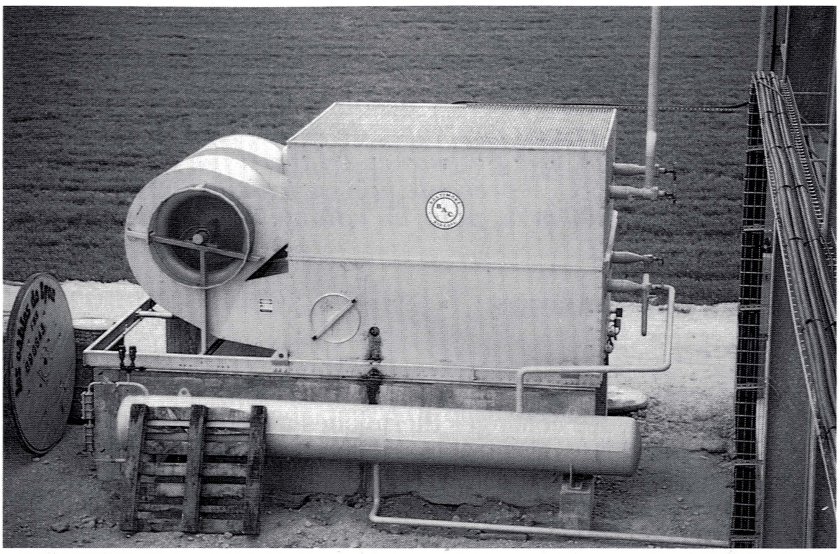
4 Les condenseurs à eau

L'efficacité des échanges thermiques avec l'eau fait de ce corps un excellent fluide de refroidissement. Ses contraintes proviennent de sa disponibilité décroissante, de son prix et des difficultés de nature chimique (tartre et corrosion) et biologique (algues et bactéries). Les rendements diminuent, la maintenance est importante, sans négliger l'indispensable protection antigel.
Ils sont formés d'un grand nombre de tubes ailettés où circule l'eau, disposés horizontalement à l'intérieur d'une enceinte métallique chaudronnée appelée "calandre". Cette description correspond aux condenseurs multitubulaires horizontaux, les plus répandus. Ils se présentent généralement sous la forme d'un cylindre de 1 à 6 m de long et d'un diamètre de virole de 0,2 à 1,2 m.
A la différence des condenseurs à air, situés par nécessité à l'extérieur, au sol ou en toiture, les condenseurs à eau sont situés en salle des machines à proximité immédiate des compresseurs. De moins en moins possible, l'alimentation à eau perdue est remplacée par l'eau recyclée, refroidie dans une tour de refroidissement.

5 Le condenseur évaporatif

Il utilise l'air et l'eau pour exploiter les avantages de ces deux fluides et limiter leurs inconvénients. Il associe en un seul appareil, le condenseur multitubulaire et la tour de refroidissement.
Il s'agit d'un ensemble de tubes lisses en serpentin avec collecteurs de distribution de gaz et de recueil de liquide, soumis à un ruissellement d'eau à contre-courant d'une circulation ascendante d'air. L'eau est relancée dans le circuit par une pompe. Un niveau à flotteur assure la

compensation de l'eau perdue sous forme de gouttelettes et celle perdue par évaporation en remplissant sa fonction de refroidissement. La quantité consommée est de l'ordre de 2 à 3 kg d'eau par kWh de puissance. L'air est propulsé par des ventilateurs centrifuges et la variation de puissance est obtenue par leur arrêt sous contrôle d'un pressostat.



Condenseur évaporatif à l'ammoniac

Le condensateur évaporatif est la solution la plus couramment employée avec l'ammoniac.

Les évaporateurs

QUELLE SURFACE POUR L'ÉVAPORATEUR ?

L'évaporateur est, pour l'exploitant, la pièce maîtresse de l'installation frigorifique. De ses caractéristiques et de sa régulation dépendent les variations de températures, d'humidité et de vitesse d'air, responsables des pertes de poids et de l'évolution des fruits.
Ses principales caractéristiques sont :
- Puissance adaptée au bilan frigorifique de la chambre froide,
- Surface d'échange minimale de 0,5 m^2 par m^3 de chambre froide,
- Ecartement d'ailettes de 7 mm,
- Coefficient de brassage 20 à 30 en conservation, 40 à 60 en refroidissement.

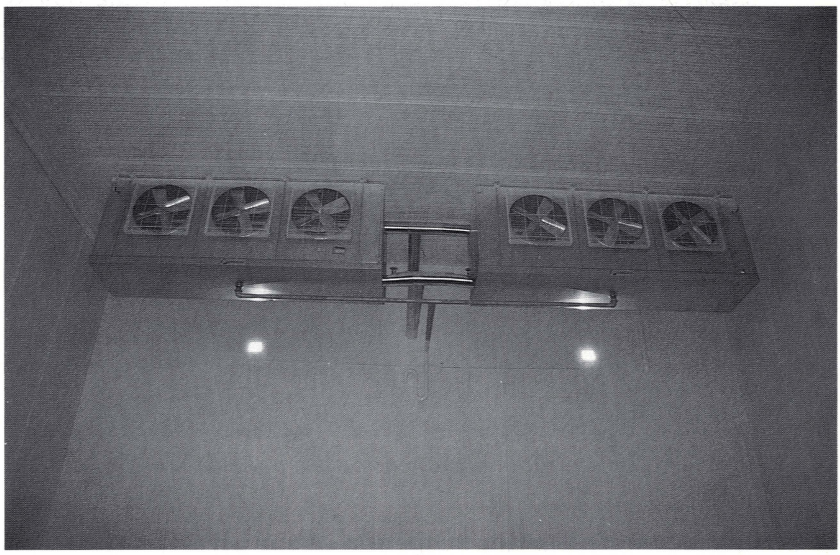
En détente directe, l'évaporateur est le plus souvent alimenté avec un détendeur thermostatique ou électronique, mais dans les deux cas en

association avec une régulation de la température d'évaporation. En eau glycolée, une vanne trois voies et une pompe de circulation confèrent des conditions optimales.

Sous le nom un peu abusif d'évaporateur est désigné un ensemble d'échangeurs thermiques, placés dans la chambre pour en refroidir l'air. Les évaporateurs justifient leur nom s'ils sont alimentés en direct. Ce sont des frigorifères quand l'eau glycolée y circule. Dans la réfrigération indirecte, les échangeurs entre fluide frigorigène et l'eau glycolée sont situés dans la salle des machines. Une régulation est indispensable au contrôle du fonctionnement de ces échangeurs. Ces derniers influent bien évidemment sur le climat et l'état des fruits.

1 Les évaporateurs refroidisseurs d'air ou aérofrigorifères

Descriptif



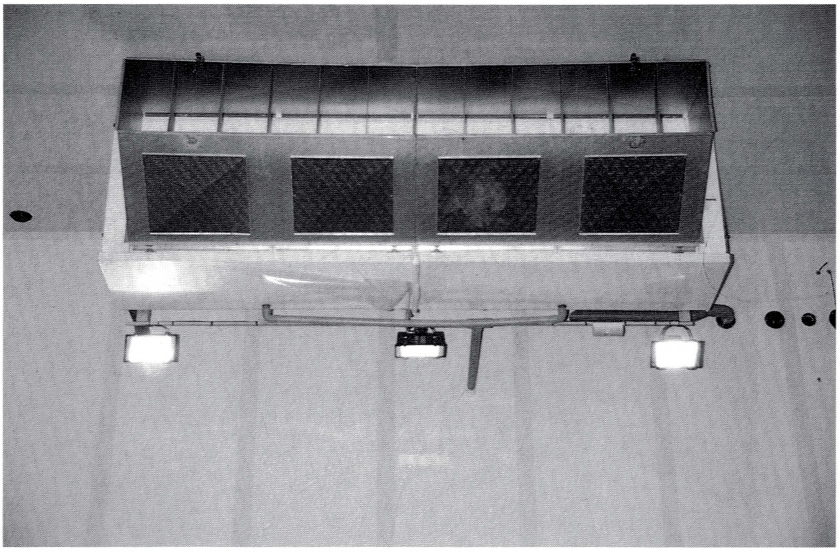
Frigorifères cubiques plafonniers à eau glycolée

Ces évaporateurs constituent les batteries froides placées dans la chambre et destinées à refroidir l'air. Elles ne diffèrent pas dans leur aspect, qu'elles soient alimentées en fluide frigorigène ou en eau glycolée. C'est un ensemble de tubes munis d'ailettes, auxquels sont associés des ventilateurs. La taille, la disposition des tubes, leur alimentation en nappes à partir d'un distributeur, la matière, la forme et le

dimensionnement des ailettes, les dimensions et les caractéristiques des ventilateurs forment tout un complexe qui influe sur le résultat : la transmission de la chaleur, sous un écart de température donné et avec un coefficient de transmission résultant de la construction de l'évaporateur avec Q_0 = k.s Dt comme pour les condenseurs.

Caractéristiques

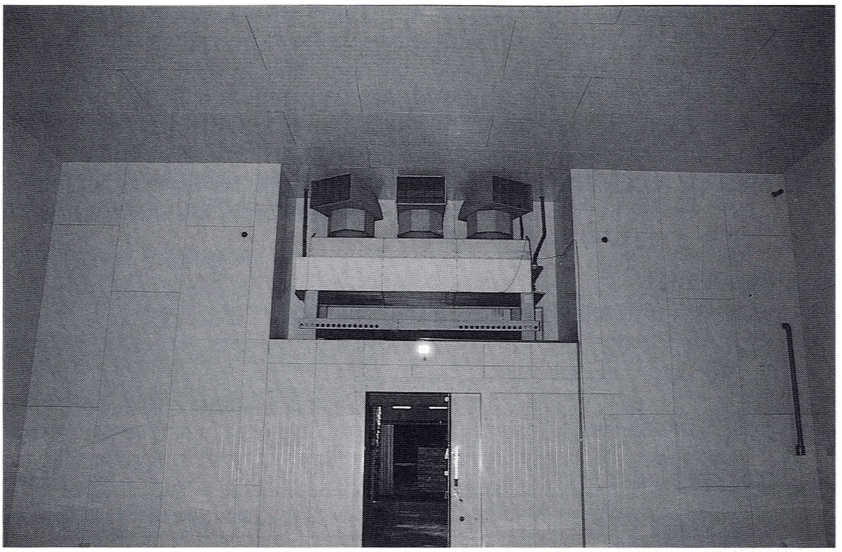
En station fruitière, les principaux critères simples retenus, sont un écartement d'ailettes de 7 mm, une surface en m^2 correspondant à un ratio en m^2 par m^3 de volume brut de la chambre supérieur à 0,5 jusqu'à 0,8. Ce ratio a été beaucoup plus faible, quand on admettait des écarts de température plus importants, des temps de fonctionnement plus longs et des conservations plus courtes. Un autre critère de choix est celui de la puissance frigorifique nécessaire, calculée par le bilan, sous un écart de température donné. On s'intéresse ensuite au débit d'air : un CB de 20 à 30 en conservation et 40 à 60 en refroidissement. Le CB c'est le coefficient de brassage, rapport du débit d'air, au volume brut de la chambre.



Evaporateur cubique plafonnier avec buse de soufflage

Comparaison plafonnier suspendu et sur pied

Les évaporateurs cubiques plafonniers doivent être suspendus à la charpente ou posés sur portiques. Leur encombrement dans la chambre réduit le volume de chargement. Les évaporateurs sur pieds sont placés dans des niches et munis de buses de soufflage fixes ou orientables, avec une aspiration frontale ou par en-dessous. Le sol de la niche doit être porteur et la réalisation de celle-ci est une complication. Les évaporateurs peuvent être placés sur portique. Dans ce cas, ils sont encore plus encombrants qu'un plafonnier.



Evaporateur sur pied en niche avec aspiration par en-dessous

Evaporateur sur pied en niche avec aspiration frontale

Les différences entre les diverses solutions portent sur le poids et l'encombrement, facteurs de structures jouant sur l'investissement. Il faut comparer le coût de la niche à celui de l'accrochage à la charpente ou au portique. La différence porte également sur le coût de fonctionnement : la puissance électrique consommée est multipliée par 5 pour des frigorifères sur pieds. Dans le cas de la niche, la gale-

technique peut être supprimée ou réduite à une partie faisant office de salle de machines. Dans le cas de l'accrochage, la galerie technique est obligatoire.
Afin d'améliorer la circulation de l'air dans le cas des plafonniers, on tend à élargir les évaporateurs à un, voire deux tiers de la largeur de la chambre. Des rideaux plastiques disposés de part et d'autre de l'évaporateur et sous celui-ci, jusqu'aux pallox, permettent de mieux canaliser l'air à la reprise et d'éviter les courts-circuits, à condition qu'un espace suffisant ait été laissé.

Tableau 3.VII
Comparaison entre évaporateurs plafonniers ou sur pieds

	Plafonnier	Sur pieds
Type	CRM 41	ADM
Surface (m^2)	361	389
Puissance frigorifique (fg/h)	42000	44310
Débit d'air (m^3/h)	35200	35900
Nombre de ventilateurs	4	2
Puissance électrique par moteur (kW)	0,55	2,5
Dimensions (mm)	3320 x 935 x 1250	3020 x 1615 x 3117
Poids (données constructeur kg)	590	955

Nous avons retenu un évaporateur plafonnier type CR 61 d'une puissance de 51 500 fg/h, sous un écart de température de 6°C, (écart entre la température d'air à l'entrée et la température d'évaporation du fluide à la sortie de la batterie), écartement d'ailette de 7 mm, surface de 542 m^2 soit un ratio de 0,5 m^2/m^3 avec 6 ventilateurs, pour un CB de 52 en grande vitesse et CB de 24 en petite vitesse. Il pèse 1300 kg et présente une largeur de 4,77 m.

2 Les évaporateurs refroidisseurs de liquide

On ne les rencontre que dans le cas de la réfrigération indirecte. Le fluide frigorigène R22 ou R717 est utilisé pour refroidir de l'eau glycolée qui circule dans l'aérofrigorifère de la chambre. Ils sont principalement du type multitubulaire horizontal, ou du type échangeurs à plaques.

L'évaporateur multitubulaire horizontal

Il est tout à fait analogue au condenseur multitubulaire horizontal. Un faisceau de tubes mandrinés ou soudés sur des plaques tubulaires est monté dans une virole, fermée par des fonds cloisonnés.

Un dôme de prise de vapeur ou un séparateur de liquide horizontal se trouve en partie supérieure. Quand il n'est pas intégré dans le corps principal, les tubes ne remplissent alors que la moitié inférieure de la virole.
Pour une vitesse de fluide de 1,2 m/s et une densité de flux thermique de 6000 W/m², une solution d'éthylène glycol à 20 % (- 15°C, - 10°C), le coefficient K est de 575 avec du R22 et de 580 avec du R717. L'alimentation s'effectue en noyé.(cf plus loin).

L'évaporateur à plaque

Les progrès réalisés en matière d'étanchéité de joints permettent d'utiliser l'évaporateur à plaques depuis quelques années. Le frigorigène circule d'un côté de la plaque dans un circuit imprimé en relief, le frigoporteur circule de l'autre côté. Il est facile d'augmenter le nombre de plaques à l'intérieur d'un bâti avec un plateau fixe et un plateau mobile de serrage. Le coefficient d'échange thermique est 5 à 10 fois supérieur à celui des échangeurs multitubulaires, l'encombrement est réduit ainsi que le poids. L'investissement est diminué. La présence de joints limite la longévité et la pression d'utilisation.

3 L'alimentation des évaporateurs

Deux régimes d'alimentation sont envisageables, à détente sèche ou en noyé.

La détente sèche

Dans ce cas, l'évaporateur est alimenté en liquide haute pression. Celui-ci subit une détente dans l'évaporateur, passe en totalité à l'état gazeux avec une surchauffe. Dans le domaine qui nous intéresse, l'organe de détente est un détendeur thermostatique, ou un détendeur électronique dont le principe de fonctionnement est différent. Cette situation est la même pour un aérofrigorifère ou un refroidisseur de liquide tels que ceux évoqués plus haut.

Le détendeur thermostatique

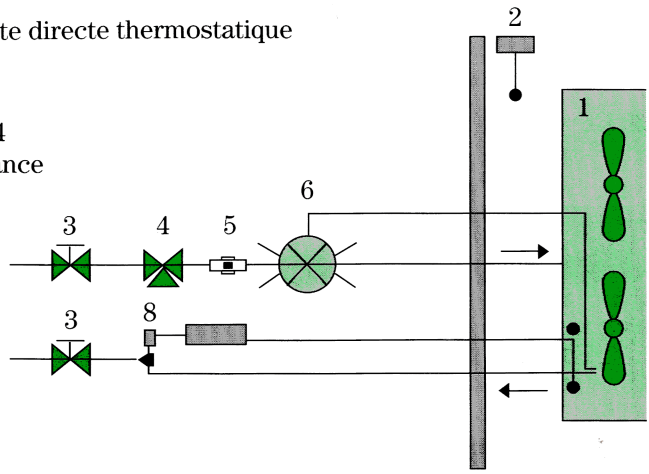
Ce détendeur n'injecte dans l'évaporateur que la quantité de fluide précisément nécessaire aux besoins momentanés, en fonction de la surchauffe de la vapeur du fluide frigorigène à la sortie de l'évaporateur (*figure 3.7*).
Le bulbe du train thermostatique est étroitement appliqué sur la tuyauterie d'aspiration de l'évaporateur. Si le débit masse du fluide détendu est plus faible que celui aspiré par le compresseur, l'évaporateur a tendance à se vider, la surface mouillée diminue tandis que croît celle qui joue le rôle de surchauffeur des vapeurs sèches. Il en résulte une augmentation progressive de la température des vapeurs sortant de l'évaporateur, ce qui provoque l'ouverture du détendeur.
Le détendeur thermostatique associé à une régulation électronique de température d'évaporation pour éviter que celle-ci ne descende

trop bas, a un effet important sur la teneur en eau de l'air, comme on le verra plus loin.

Figure. 3 - 7

Alimentation en détente directe thermostatique

1 : évaporateur CE 114
2 : thermostat d'ambiance
3 : robinet d'arrêt
4 : électrovanne
5 : voyant liquide
6 : détendeur thermostatique
8 : vanne électronique de température d'évaporation



Le montage sur place doit respecter les recommandations du fournisseur. Le réglage réclame un certain doigté de la part de l'installateur. Une surchauffe trop forte diminue l'efficacité de l'évaporateur, une surchauffe trop faible risque d'entraîner des coups de liquide.

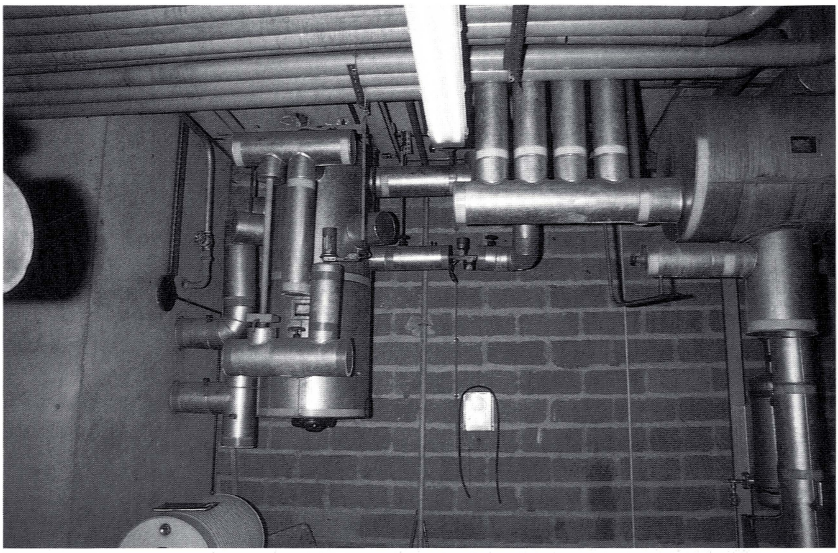
■ Le détendeur électronique

Le détendeur thermostatique est un organe de régulation mécanique à action proportionnelle. Mécanique, car il fonctionne avec un pointeur et un ressort, sans énergie électrique auxiliaire. Proportionnelle, car l'ouverture du détendeur suit l'écart de température du bulbe par rapport au point de consigne.
Avec le détendeur électronique et au prix d'un apport d'énergie qui va permettre la régulation et actionner un moteur, l'adaptation de l'ouverture sera plus précise. Cette fois-ci, la mesure se fait uniquement sur l'écart de température du fluide frigorigène à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur. L'ouverture du détendeur est modifiée et donne le débit de fluide frigorigène jusqu'à obtention de la différence de température S2 - S1 désirée. Le détendeur électronique est monté avec une régulation électronique de la température d'évaporation en régulation proportionnelle intégrale. Le principal avantage du détendeur électronique est d'assurer un meilleur remplissage quantitatif et qualitatif de l'évaporateur par de moindres fluctuations de niveau qu'avec le détendeur thermostatique dont le temps de réponse est plus élevé. Les éléments de comparaison de l'influence de ce dispositif sur le climat de la chambre et l'état des fruits seront précisés plus bas.

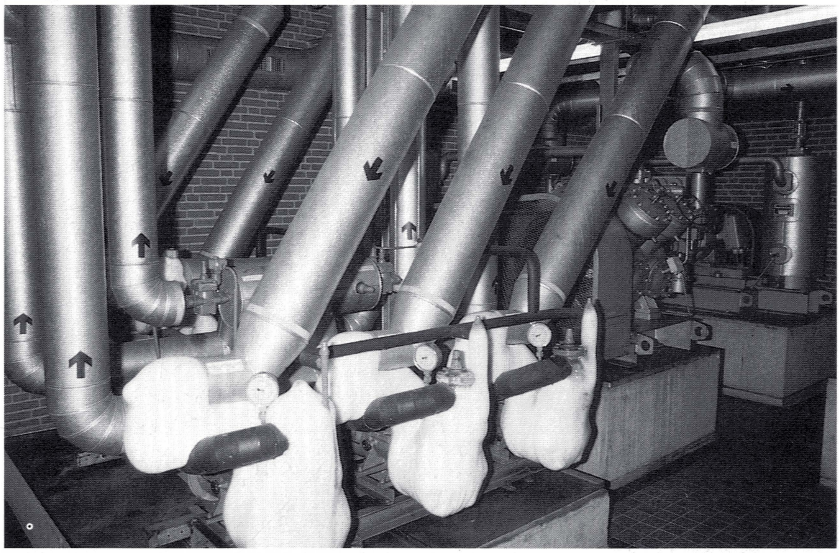
■ L'alimentation des évaporateurs noyés

Le procédé vise à améliorer les échanges thermiques par une alimentation en liquide plus complète. Seule une petite partie du liquide

va être évaporée. Le système de régulation utilisé est alors un régulateur de niveau ou un détendeur à flotteur. La circulation du fluide frigorigène peut être assurée par pompe (*figure 3.8*). Pour l'alimentation du compresseur, la séparation liquide-gaz s'effectue au niveau de la bouteille accumulatrice. Dans les installations à l'ammoniac en détente directe, les évaporateurs en régime noyé peuvent être alimentés à partir d'une bouteille de surchauffe individuelle (*cf. photo*), ou collective, placée en hauteur.

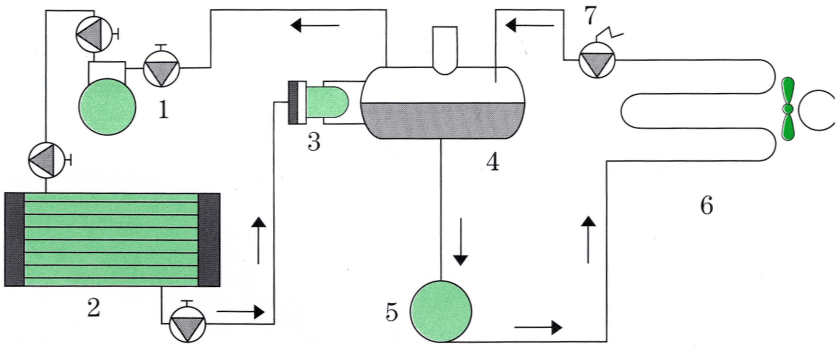


Bouteille individuelle de surchauffe pour évaporateur à l'ammoniac



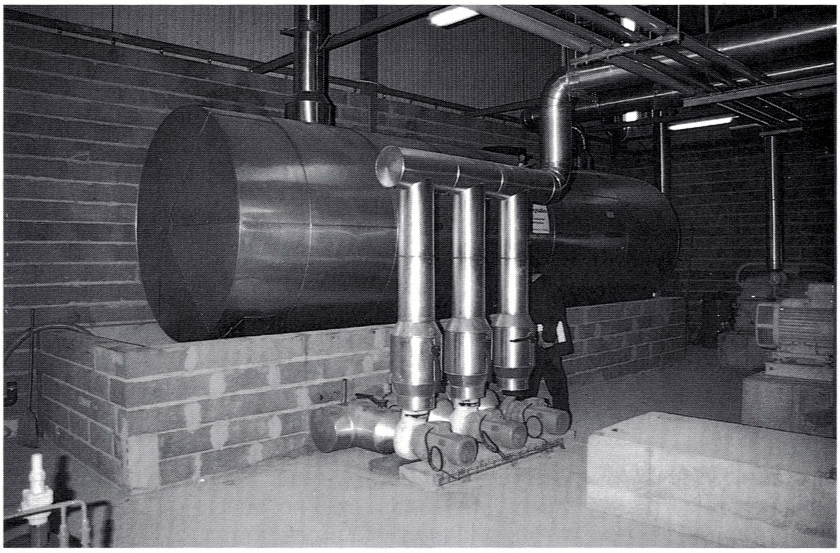
Alimentation par pompe en détente directe à l'ammoniac

Figure. 3 - 8
Installation à circulation par pompe



1 : compresseur
2 : condenseur
3 : détendeur à flotteur
4 : réservoir de liquide détendu
5 : pompe
6 : évaporateur refroidisseur d'air
7 : vanne magnétique

L'alimentation des aérofrigorifères en eau glycolée



Ballon horizontal d'eau glycolée et pompes de circulation

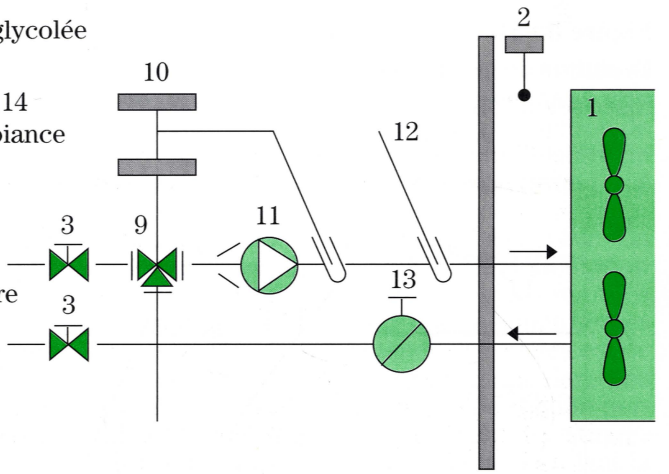
Cette alimentation est plus simple. Le fluide en circulation ne change pas d'état et l'on admet une quantité d'eau plus froide pour faire descendre la température en circulation dans la batterie froide. Mais c'est

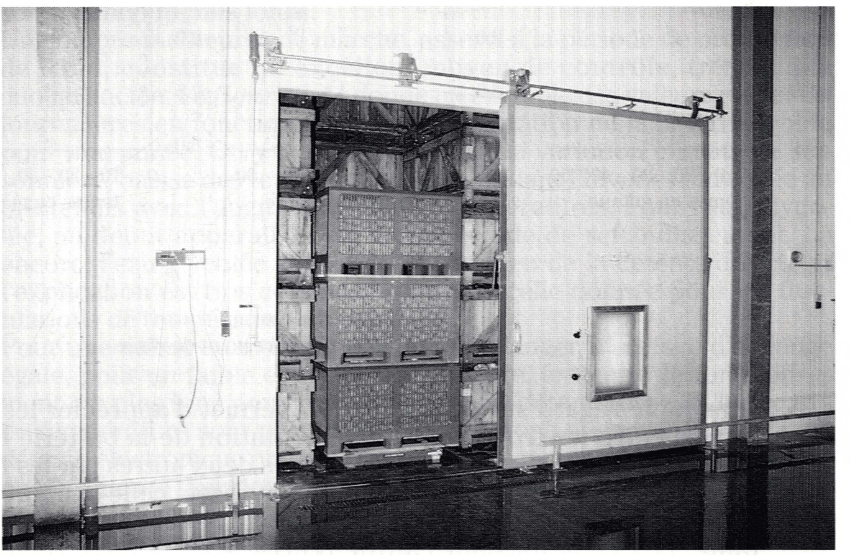
au niveau de l'échangeur fluide frigorifère/eau glycolée, qu'est reportée la question de la régulation du détendeur du fluide frigorigène. La *figure 3.9* montre la disposition de la boucle formée par l'aérofrigorifère, la vanne trois voies et la pompe de circulation. Cette boucle est raccordée au circuit d'alimentation général des évaporateurs, lequel comporte des pompes depuis le réservoir d'eau glycolée. Volant de froid, ce réservoir permet également de travailler avec une charge plus constante et plus régulière pour les compresseurs, ce qui est favorable à la longévité. La boucle primaire avec pompe se déroule entre échangeur et ballon.

Figure 3 - 9

Alimentation en eau glycolée

1 : évaporateur CE 114
2 : thermostat d'ambiance
3 : robinet d'arrêt
9 : vanne trois voies
10 : régulateur
11 : pompe
12 : sonde température
13 : vanne papillon





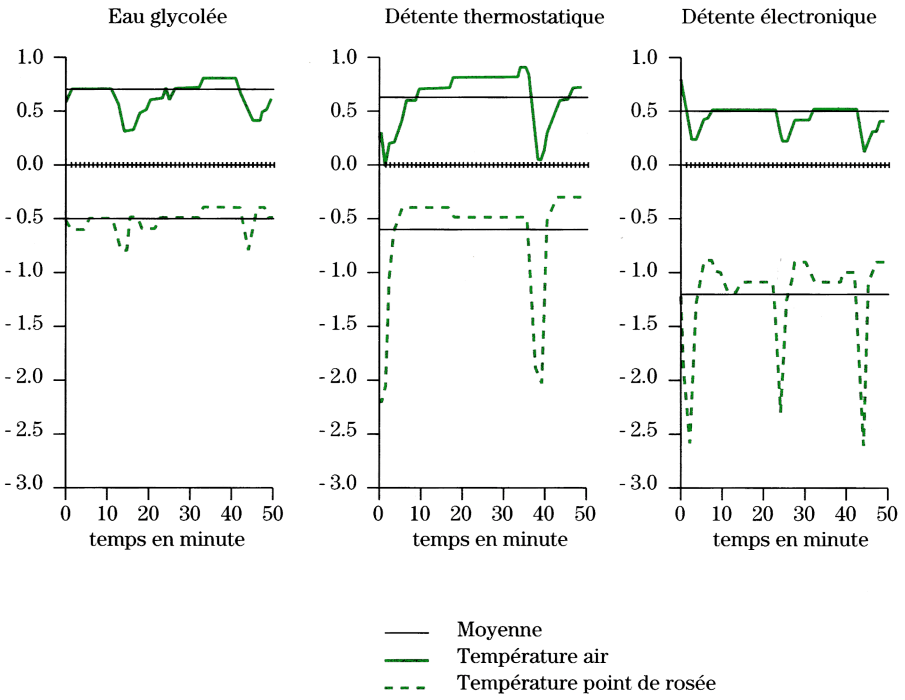
Pèse-palette et pallox plastiques de suivi des pertes de poids

Eléments de comparaison

Les deux grandes options d'alimentation de l'aérofrigorifère portent sur la réfrigération indirecte (eau glycolée) avec des variantes possibles et la détente directe (principalement détendeur thermostatique ou détendeur électronique), avec dans ces deux derniers cas, régulation de la pression d'évaporation.
L'affaire s'envisage en suivant l'évolution de la température d'air, celle de la température de rosée, des heures de marche, des pertes de poids et de la fermeté des fruits.

Les températures

Figure 3 - 10
Evolution de la température d'air de reprise et de la température du point de rosée selon l'alimentation de la batterie froide (La Morinière 25/01/90)



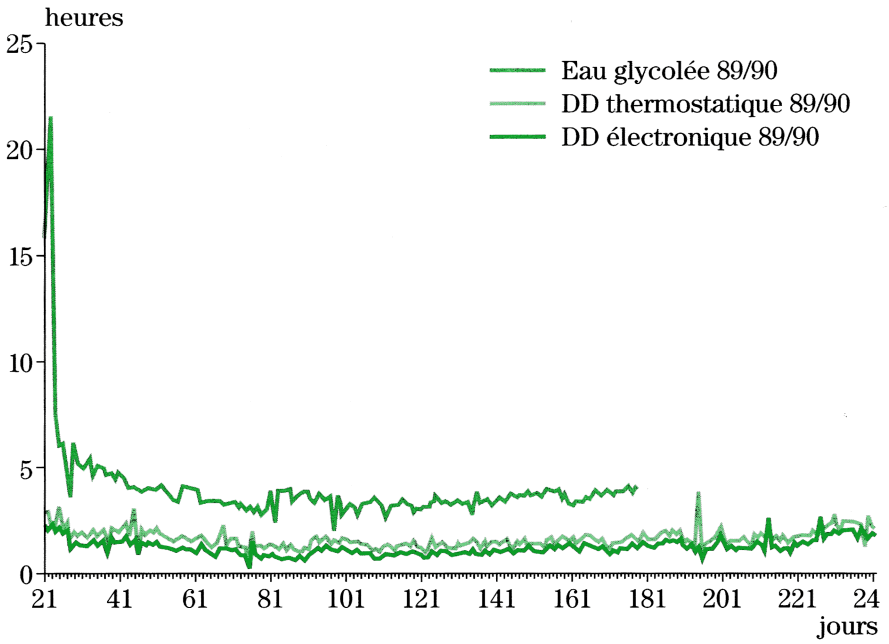
Un simple regard sur la *figure 3.10* permet d'apprécier les différences entre les trois modes d'alimentation de la batterie froide. L'eau glycolée se distingue d'emblée des deux autres par les faibles variations de la température du point de rosée, celle-ci étant également élevée, c'est à dire correspondant à une teneur en eau importante. Les variations sur l'air de reprise sont faibles. En détente directe, quelle que soit la régulation, les fluctuations sont beaucoup

plus grandes. La température du point de rosée peut s'abaisser au delà de - 2 °C alors qu'on ne descend pas en-dessous de - 0,8 °C avec l'eau glycolée. En détente thermostatique, il faut noter qu'avec des grandes variations, les valeurs moyennes du point de rosée et de l'air restent très voisines de celles de l'eau glycolée. Il y a donc deux aspects à prendre en compte, niveau moyen et amplitudes, pour comparer les résultats. En détente électronique, les valeurs de température de rosée sont nettement plus faibles qu'en détente thermostatique et affectent la moyenne alors que l'on est plus constant sur la température de l'air de reprise. Plus fréquents les cycles de production de froid sont également plus courts à conditions égales par ailleurs.

■ Temps de marche

Une première évidence s'impose : les conditions de température et donc de teneur en eau de l'air, évoluent constamment dans une chambre, avec alternance d'évolution rapide, lors de la production de froid, et lente entre deux cycles : il est donc quelque peu illusoire de se focaliser sur une valeur moyenne d'humidité relative, qui rend très mal compte de ces changements.
La deuxième évidence est que la production de froid est brève. En période d'entreposage, qui peut durer plus de dix mois, l'alimentation périodique de la batterie froide ne dépasse guère quelques minutes par cycle. Ce qui, en temps cumulé, ne représente que quelques heures pour une période de 24 heures puisque la fréquence des cycles est de l'ordre de 20 à 30 minutes. La batterie froide se trouve donc dans des conditions de régime transitoire, bien loin de celles de régime permanent, utilisé par le constructeur pour définir les caractéristiques de son échangeur. Bien entendu, il n'en est pas de même pendant la courte période de refroidissement des fruits où les temps de marche sont beaucoup plus longs.
Un compteur d'heures de marche, asservi à la période de production de froid, constitue un excellent moyen de contrôle, très simple quoiqu'ancien. La *figure 3.11* donne un exemple des valeurs cumulées journalières en fonction du type d'alimentation de la batterie froide pour une année. On y trouve l'aspect de la variation climatique saisonnière, baisse des temps de marche pendant l'hiver et remontée au printemps avec l'augmentation des températures. Pour l'eau glycolée, au début apparaît le pic de la période de refroidissement. Là encore, l'eau glycolée se distingue très bien de la détente directe et l'explication est très complémentaire de celle donnée pour les fluctuations de température de rosée.
Pour une même quantité de chaleur à échanger, à surface d'échange égale, pour un faible écart de température, le temps de fonctionnement est plus long pour l'eau glycolée. En détente directe, les écarts de température sont plus grands et les temps de marche réduits. La détente électronique présente des temps de marche un peu plus courts que la détente thermostatique. Cela semble étonnant, dans la mesure où la fréquence est un peu plus élevée. Mais celle-ci s'accompagne d'un temps de fonctionnement plus bref, sanction d'un meilleur remplissage et plus rapide de l'évaporateur.

Figure. 3 - 11
Comparaison des temps de marche
de différents systèmes d'alimentation de la batterie froide (La Morinière 1990)



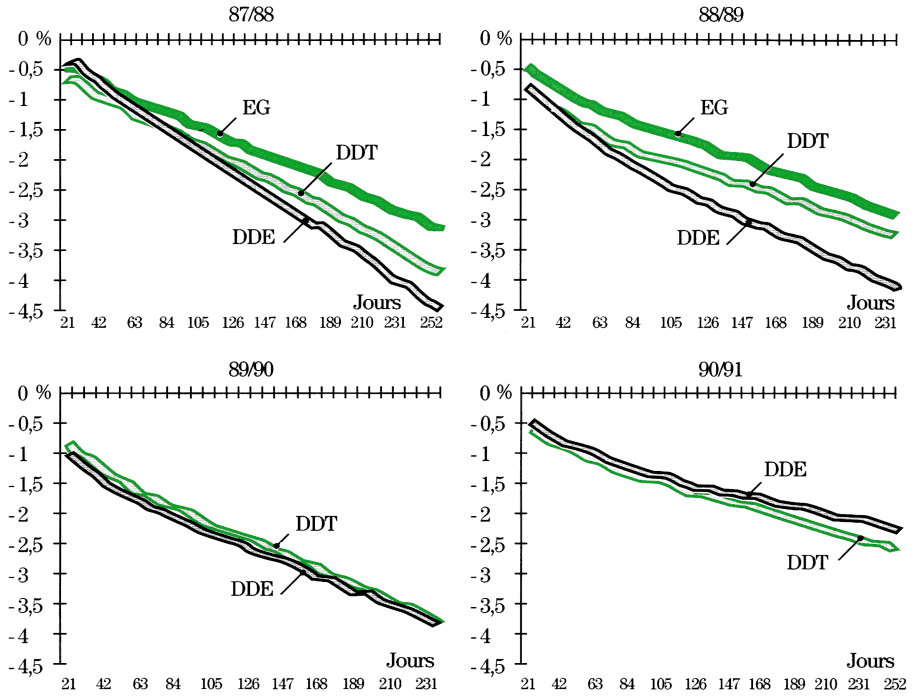
■ Pertes de poids

L'eau glycolée affiche des pertes de poids très nettement inférieures aux deux détentes directes, l'écart en valeur se situe entre 0,5 et 1,5 %. Les résultats obtenus à La Morinière sur 4 campagnes sont présentés par les courbes de la *figure 3.12*. L'eau glycolée a disparu des deux dernières années d'expérimentation pour des raisons de priorité d'expérimentation. La position relative des courbes de détente électronique et thermostatique a évolué au fil du temps. La détente électronique a engendré des pertes de poids plus importantes les premières années. Elle s'est peu à peu rapprochée de la détente thermostatique en 89 pour donner finalement un meilleur résultat en 1990. Cette évolution n'est pas bien sûr le fruit du hasard. Par hypothèse de départ, la détente électronique devait se situer entre les deux autres systèmes. L'expérimentation révèle également l'indispensable temps d'adaptation à l'utilisation d'un matériel nouveau.
Il est clair que les pertes de poids dépendent des variations d'humidité dans la chambre, ce dont l'évolution du point de rosée rend parfaitement compte : un niveau élevé du point de rosée moyen et de faibles fluctuations génèrent peu de pertes de poids. Un niveau bas et des écarts importants provoquent des pertes de poids élevées. Par ailleurs, le rythme de perte de poids peut être très largement influencé par les

conditions climatiques de l'année. C'est le cas en 1990 : les pertes sont très faibles en raison d'une période chaude et très sèche. Enfin, les plus grandes pertes de poids demeurent nettement en deçà du seuil de flétrissement.

Figure 3 - 12

Evolution des pertes de poids



EG = eau glycolée DDT = détente directe thermostatique DDE = détente directe électronique

■ La fermeté du fruit

Le pénétromètre manuel est utilisé pour tenter d'apprécier l'évolution dans le temps de la fermeté du fruit. Les résultats sur les trois campagnes et les trois systèmes sont illustrés sur la *figure 3.13*. Ils sont exprimés en kg/cm^2. La faiblesse des valeurs obtenues avec l'eau glycolée est remarquable. On remarque par ailleurs l'effet de l'année et la diminution des écarts entre les deux détentes directes en 1989 et 90. Le pénétromètre manuel rend cependant assez mal compte de la résistance des fruits aux chocs mécaniques. Or ceux-ci provoquent

des mâchures et le développement de brunissement au bout de quelques jours. En 1987, on relève un diamètre moyen de meurtrissures de 13,7 mm pour l'eau glycolée, de 12,2 mm pour la détente thermostatique, de 12,4 mm pour la détente électronique. Ceci traduit bien la moindre résistance mécanique des fruits qui ont perdu peu de poids, par opposition à ceux qui sont devenus moins vulnérables car plus déshydratés, donc plus souples.

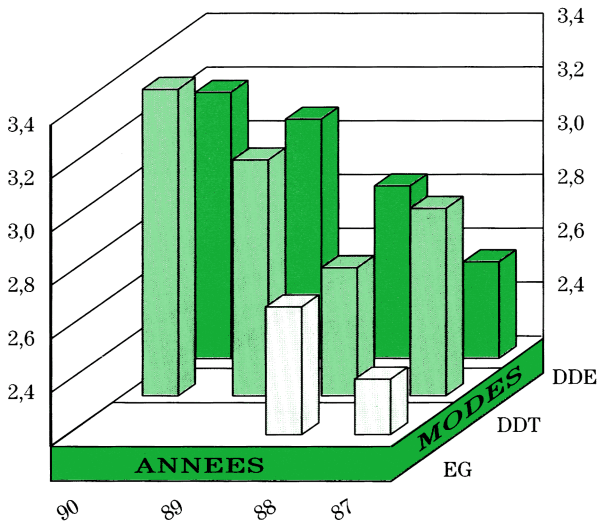


Figure 3 - 13

Comparaison de la fermeté des fruits (kg/cm2) selon l'année et le mode de distribution du froid.

Par ailleurs, les fruits qui ont le moins perdu de poids, sont également plus verts et de meilleure qualité organoleptique, ce qui est recherché. Cette analyse traduit une évidente incompatibilité au niveau des principaux objectifs de la conservation : limiter les pertes de poids, objectif de l'amont et obtenir un fruit résistant aux chocs et aux diverses manutentions, objectif de l'aval. Il est d'ailleurs possible d'atténuer cet inconvénient de l'eau glycolée, en augmentant pendant 8 à 10 jours les écarts de température après cassage de l'atmosphère contrôlée. Cette procédure provoque un séchage qui rend les fruits aptes à supporter les contraintes mécaniques.

■ Conclusions

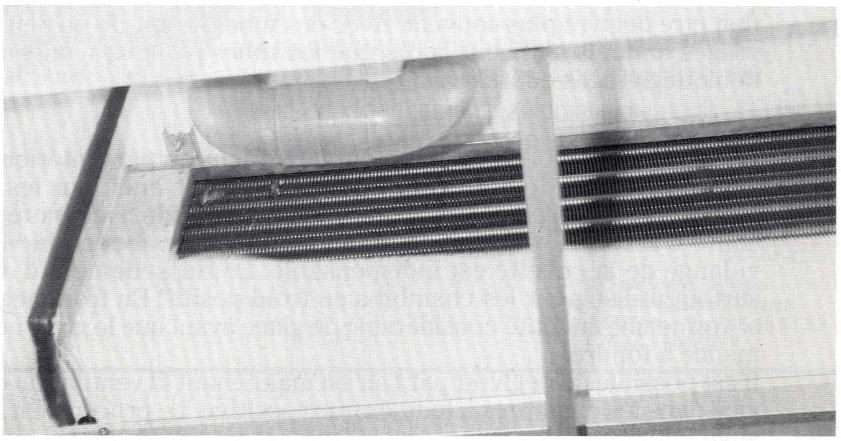
Les problèmes de déshydratation se posent en longue conservation. Les enjeux ne sont évidemment pas les mêmes en entreposage court. Perdre 1% par mois pendant trois mois n'est pas trop inquiétant. Pour le groupe des variétés type Golden delicious, dont le seuil de flétrissement se situe vers 5-6 %, un tel rythme de perte de poids n'est bien entendu pas admissible pendant 10 mois, car les dégâts seraient bien au rendez-vous.
Cette notion de durée doit être bien perçue sur une année, mais également pour la longévité de l'installation. Une station de 2500 t dont le système de production de froid génère une perte de poids de 1 % par mois vous évapore en 20 ans, 500 tonnes d'eau, au prix du kilo de

pomme. Cet écart de perte de poids de l'ordre de 1 % entre eau glycolée et détente électronique mérite d'être médité lors de l'étude de l'amortissement du coût plus élevé du premier système.
Excepté pour la résistance mécanique, la perte de poids n'est que la manifestation la plus tangible d'un ensemble de phénomènes défavorables à la qualité du fruit. Pour un investissement moindre que l'eau glycolée, la détente électronique peut apporter de meilleurs résultats que la détente thermostatique. Il faut cependant s'assurer de son efficacité et la contrôler régulièrement pour parer à toute dérive possible. Il reste cependant que les résultats sont encore très satisfaisants avec la détente thermostatique bien réglée et bien suivie, sous réserve que l'évaporateur ait été assez largement dimensionné.
L'eau glycolée confère les meilleurs résultats et la plus grande souplesse d'utilisation. Elle ouvre également de larges perspectives d'emploi compte tenu des contraintes pesant sur l'usage des CFC. A cet égard, la formule ammoniac plus eau glycolée parait à nouveau attrayante pour de grosses installations.
Tous ces éléments doivent par conséquent être bien pesés lors de la prise de décision.

4 Le dégivrage

DÉGIVRAGE À AIR OU DÉGIVRAGE PAR EAU

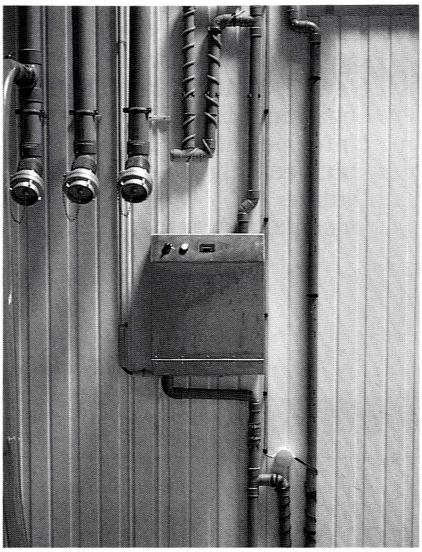
En température positive, préférer le dégivrage à air; il permet de garder une ventilation dans la chambre et perturbe peu les pressions dans la chambre (ULO).



Evaporateur au R22 givré

Pourquoi dégivrer ?

Lors du passage de l'air sur la batterie froide, sa température s'abaisse, son hygrométrie augmente. Lorsque le point de rosée est atteint, de l'eau liquide se dépose sur la batterie. Comme celle-ci est la plus souvent à une température négative, l'eau déposée se transforme en glace. Ce dépôt pénalise sévèrement le coefficient de transfert de la batterie froide : la glace est mauvais conducteur et l'épaisseur à traverser est augmentée.



Comptage des eaux de dégivrage et protection anti-gel sur siphons

Le givre ne doit pas dépasser une épaisseur maximale admissible. Si le coefficient d'échange global est faible, l'épaisseur admissible peut être plus importante. Par contre, un évaporateur à haut rendement doit être dégivré plus souvent. Avec des tubes lisses, un ou deux dégivrages annuels suffisent, alors que les tubes à ailettes exigent un à deux dégivrages quotidiens.

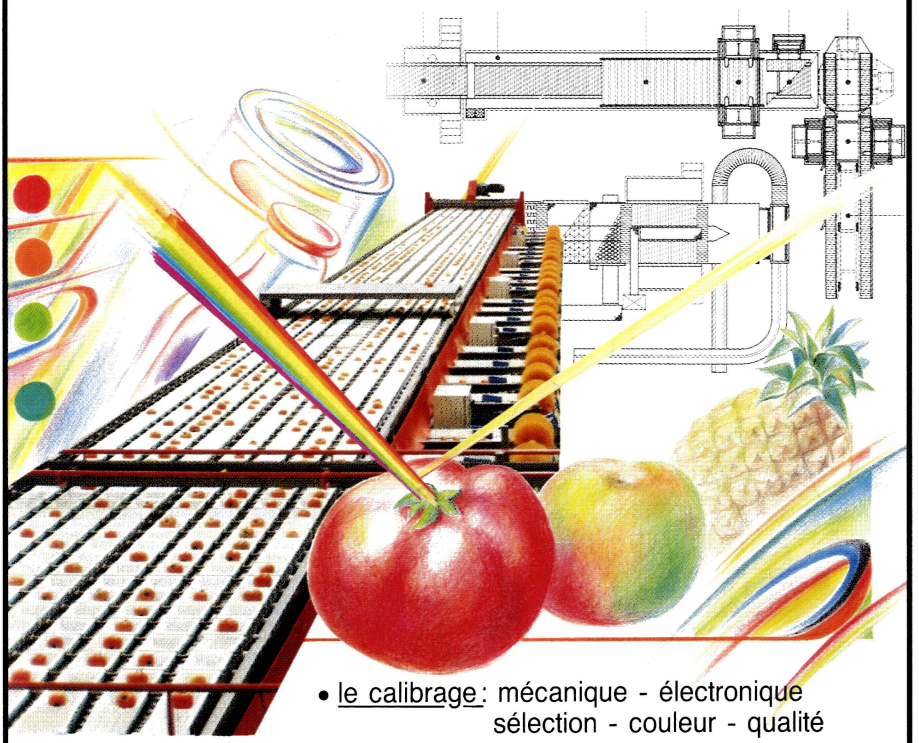
Comment dégivrer

Le dégivrage peut être effectué par l'extérieur ou par l'intérieur.

- Par l'extérieur, le grattage n'est envisageable que pour les tubes lisses. Par ruissellement d'eau, le volume de liquide nécessaire représente 6 à 10 fois celui du volume de glace à évacuer. Une bonne vidange de la cuvette est indispensable. Le ruissellement d'eau est surtout utilisé pour les chambres en froid positif. En froid négatif, il se forme une quantité considérable de glace avant que le givre ne commence à fondre.

Il est possible de dégivrer par l'air en maintenant la ventilation en service dans les chambres à température positive. Le procédé est lent et augmente les pertes de poids des fruits. Il est généralement suffisant et de fait très usité en station fruitière.

constructeur
de calibreuses pour fruits
agrumes et légumes frais

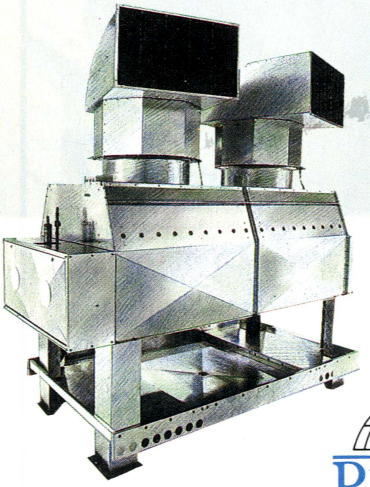


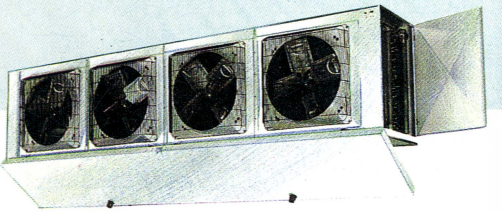
- le calibrage: mécanique - électronique
  sélection - couleur - qualité
- le conditionnement: automatique
- Ingénierie de stations fruitières.

CAUSTIER
FRANCE

191, avenue de Prades
66000 PERPIGNAN - France
Tél.: **68.54.43.43** - Fax: **68.55.51.53**
Télex: 500 592 F

LES FRUITS DE L'EXPERIENCE





PROFROID
INDUSTRIES

Le seul constructeur de matériel frigorifique qui maîtrise le traitement et la conservation des fruits depuis plus de 30 ans.

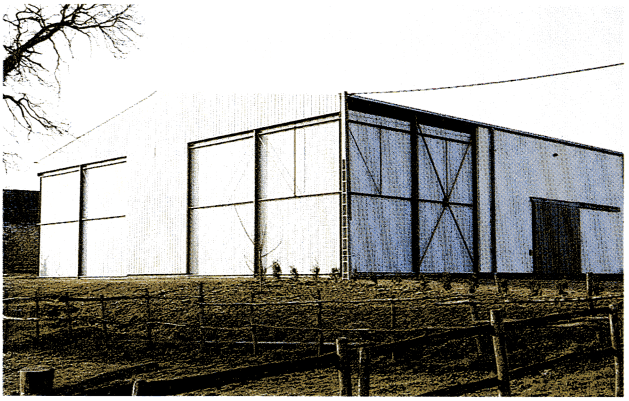
GROUPES À VIS ET À PISTONS, AUTOMATES PROGRAMMABLES, CONDENSEURS, ÉVAPORATEURS...

BP. 1152 - 13782 AUBAGNE CEDEX. TEL. : 42.18.05.00 - Fax 42.84.43.47

GRAND SUD

ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE

Entrepôt de 16 chambres avec salle des machines attenante.



Station fruitière de 3 chambres avec galerie technique.

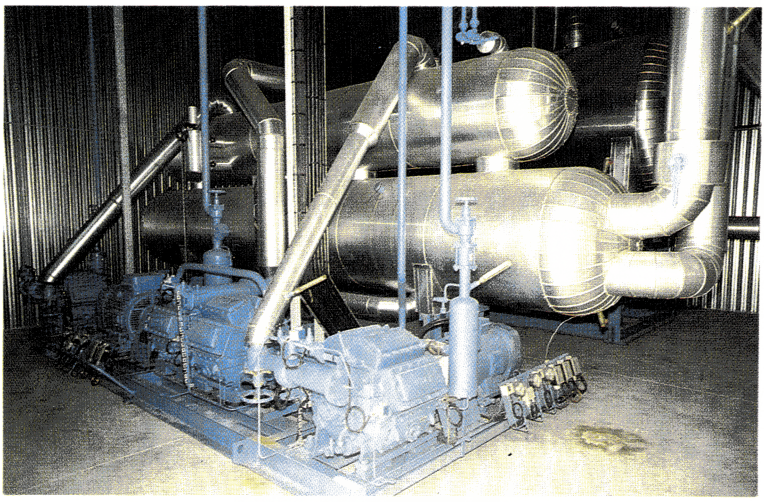
Couloir central et charpente métallique galvanisée.

York® France

YORK INTERNATIONAL

Concepteur et Installateur

L'ASSURANCE FROID DE VOTRE STATION FRUITIÈRE



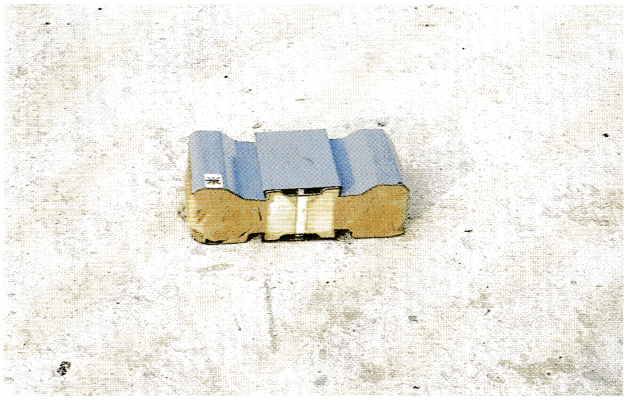
YORK FRANCE S.A.

14 rue de Bel Air - B.P. 309 - 44473 CARQUEFOU CEDEX

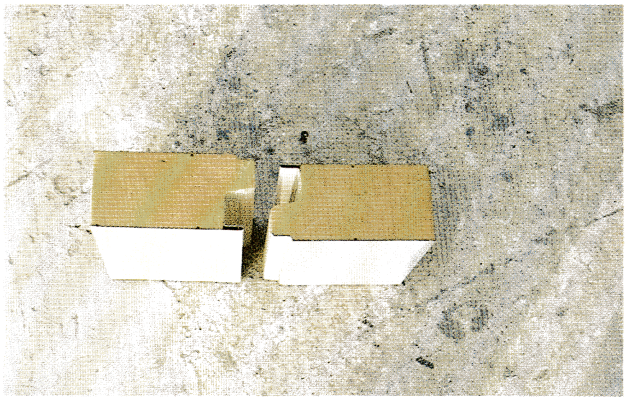
Tél. 40 30 62 00 - Fax 40 30 26 26

ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE

Panneaux Sandwichs Intégrés (PSI).

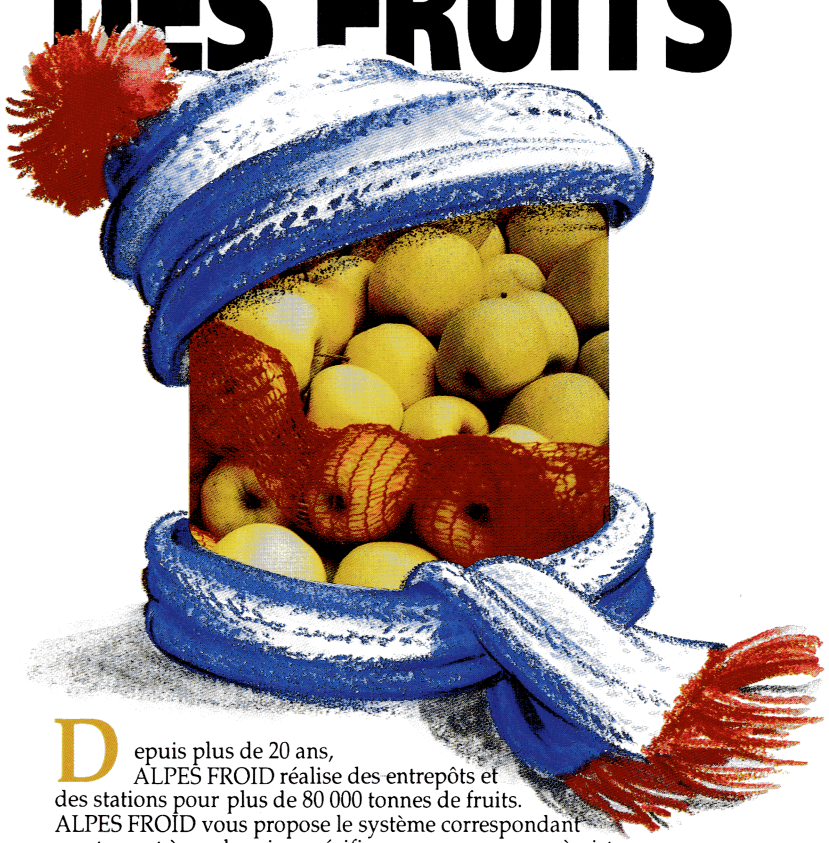


Liaison interpanneaux à joints injectés.



Liaison interpanneaux à joints secs.

L'EXPÉRIENCE DES FRUITS



galets bleus - Manosque Tél.: 92 72 27 19

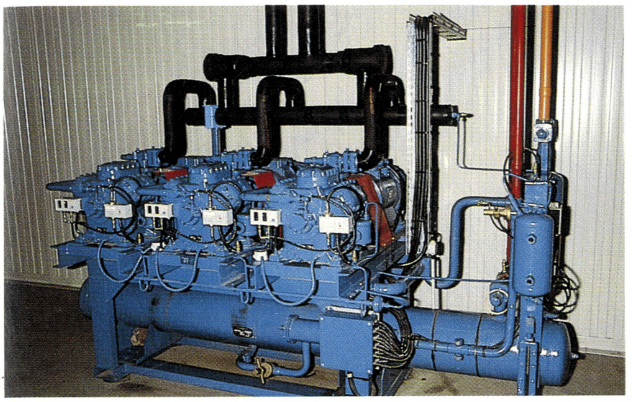
Depuis plus de 20 ans, ALPES FROID réalise des entrepôts et des stations pour plus de 80 000 tonnes de fruits.
ALPES FROID vous propose le système correspondant exactement à vos besoins spécifiques : compresseurs à pistons, compresseurs à vis ou à spirales. Gestion complète de l'installation par automate, écran et imprimante (GTC).
Partenaire du groupe MC International, ALPES FROID vous apporte son savoir faire et toute l'efficacité de ses 20 ans d'expérience en France et à l'étranger.

GROUPE MC INTERNATIONAL

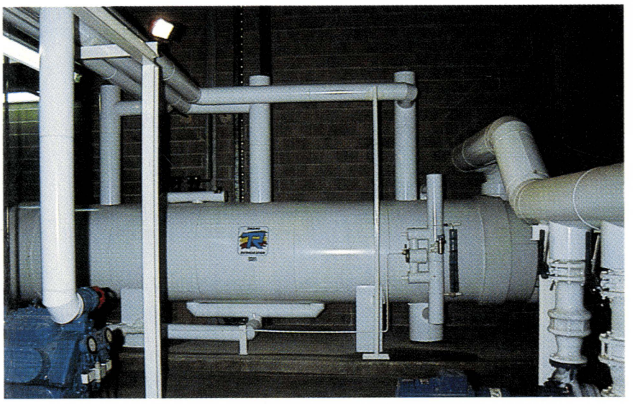
ALPES FROID

Avenue de la Gare 04700 ORAISON - Téléphone : 92 78 62 09 - Télécopie : 92 78 68 74

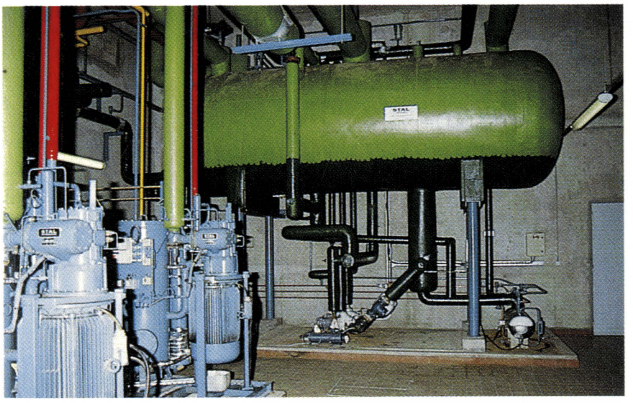
ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE



Centrale de production de froid à trois compresseurs en détente directe au R22.



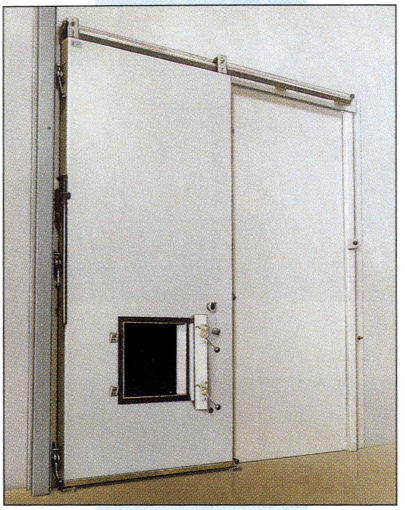
Echangeur ammoniac/eau glycolée.



Compresseurs verticaux à vis et bouteille accumulatrice d'ammoniac en détente directe.

Portes coulissantes isothermes Atmosphère contrôlée

Savoir-Faire



SAVOIR

Le stockage des fruits, secteur traditionnel de l'agro-alimentaire, se doit aujourd'hui d'être à la pointe du contrôle de l'environnement au même titre que les secteurs technologiques les plus avancés.
Une protection optimale et sans la moindre défaillance ainsi que la maîtrise de l'étanchéité et du contrôle de l'atmosphère constituent plus que jamais un gage de réussite.

FAIRE

Rigueur et compétence ont permis à LEICHLE d'élaborer dans ce domaine, comme dans beaucoup d'autres, un produit correspondant parfaitement à toutes ces exigences : les portes coulissantes isothermes atmosphère contrôlée.
Elles répondent aux besoins et aux attentes de tous les prestataires du stockage des fruits : producteurs, techniciens, responsables de stations fruitières, etc.
Elles assurent un contrôle permanent de la qualité de l'environnement.

B.P. 14 • 54480 CIREY
FRANCE
Tél. : 83 42 50 61
Fax : 83 42 64 93

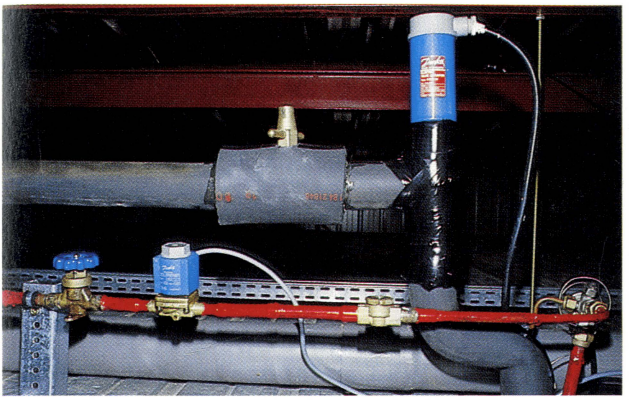
LEÏCHLÉ

DESCRIPTIF :

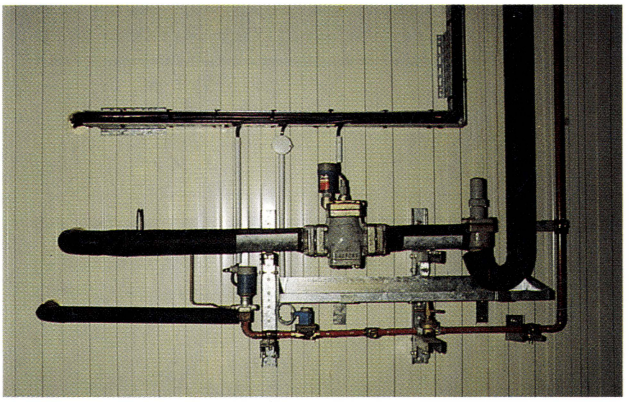
- Coulissantes ou pivotantes à 1 vantail
- Composite polyester écologique ou tôle laquée
- Adaptables sur toutes cloisons
- Plusieurs coloris standards

Trait d'Union Nancy

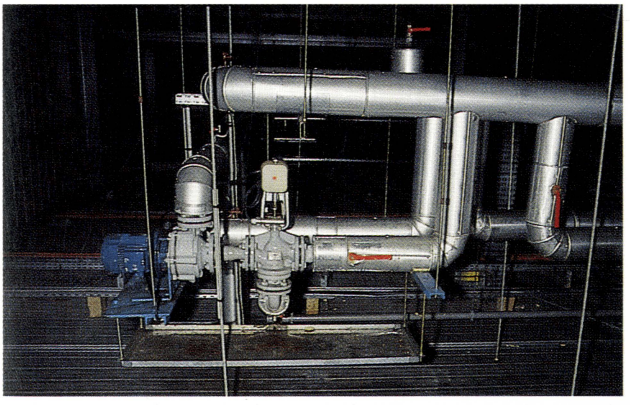
ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE



Détendeur thermostatique au R22 et régulation de température d'évaporation.



Détendeur électronique du R22 et régulation de température d'évaporation.



Vanne trois voies et pompe d'eau glycolée.

MATAL

Génie frigorifique
Installation et service

REFROIDISSEUR HUMIDE • HYDRO-COOLING
les solutions MATAL pour préserver et prolonger la fraîcheur et la qualité des produits frais végétaux
LÉGUMES • FRUITS • FLEURS

MATAL s.a.
B.P. 24 - 44840 LES SORINIÈRES -Tél. 40 84 54 54 - Télex 711 093 - Fax 40 31 28 80

Perfectionnez l'équipement frigorifique de vos entrepôts... c'est vital pour vos produits !

Nous adaptons la technologie à vos besoins

- Production de froid
- Contrôle hygrométrie
- Contrôle gaz O_2 - C_{02} - N
- Hydrocooling par aspersion et trempage
- Télégestion des régulations
- Téléalarme à distance

CONTACTEZ-NOUS AU : 90 86 87 20

AGENCE LOCOMOTIVE AVIGNON 90 32 11 92

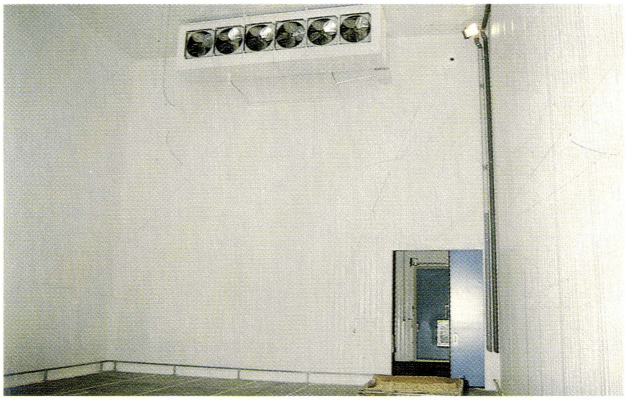
ASSISTANCE RÉGIONALE 24 H/24 H

FRICAL
La maîtrise des températures

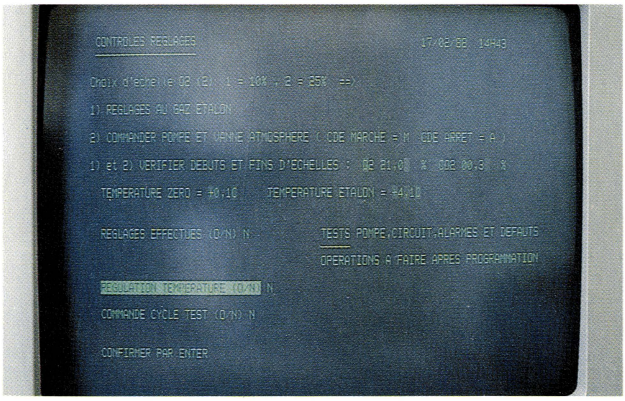
Parc d'activités des Jardins Neufs - Av. de la Synagogue
84000 Avignon - Tél. 90 86 87 20 - Télécopie 90 82 27 57

ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE

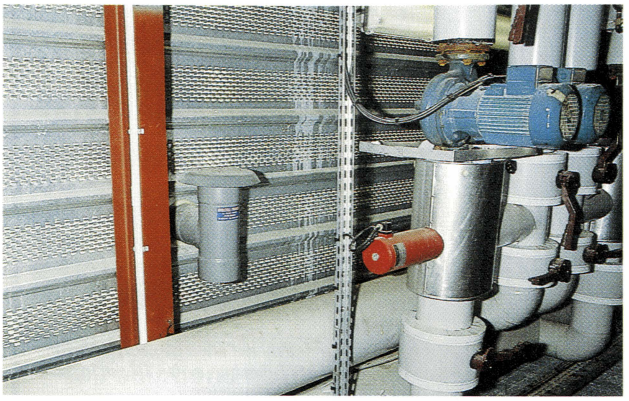
Fin de chargement d'une chambre sous l'évaporateur plafonnier.



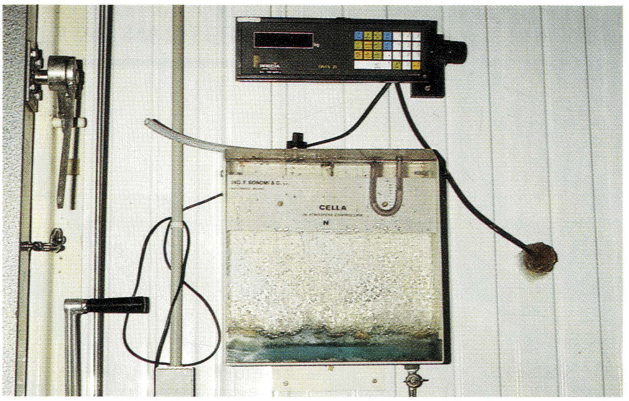
Evaporateur plafonnier à 6 ventilateurs.



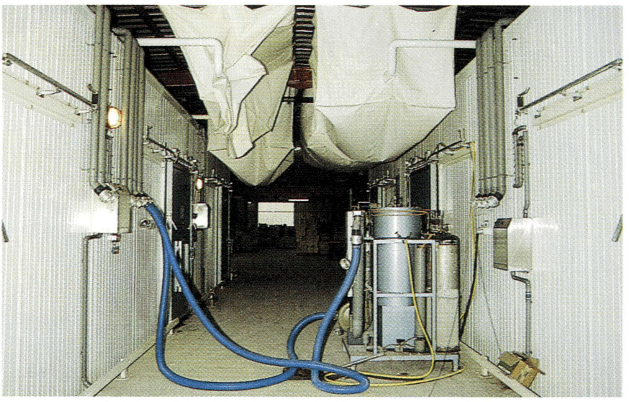
Ecran contrôle réglages d'un système de surveillance d'atmosphère contrôlée.



Soupape d'équilibrage mécanique en paroi.

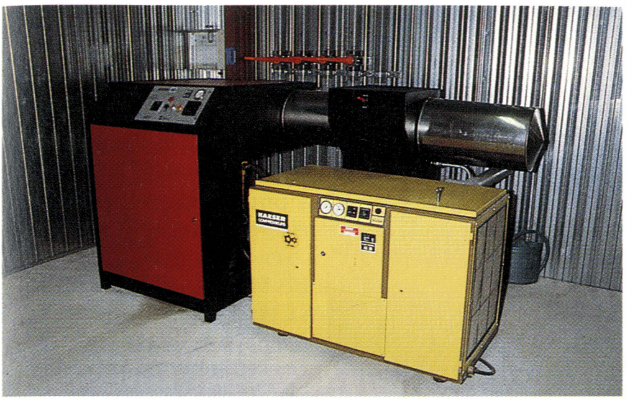


Soupape d'équilibrage hydraulique évacuant une surpression interne.



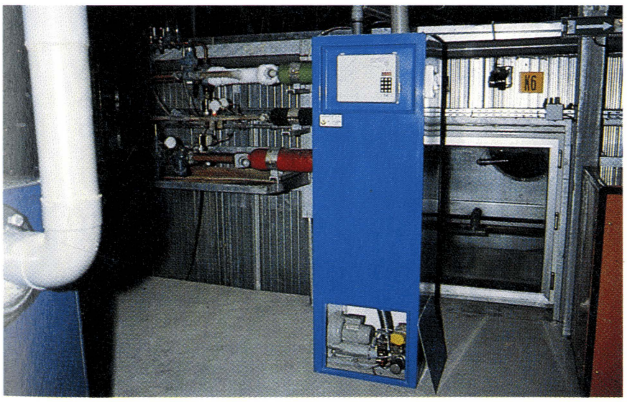
Ballons de compensation de pression et brûleur d'oxygène à ammoniac.

ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE



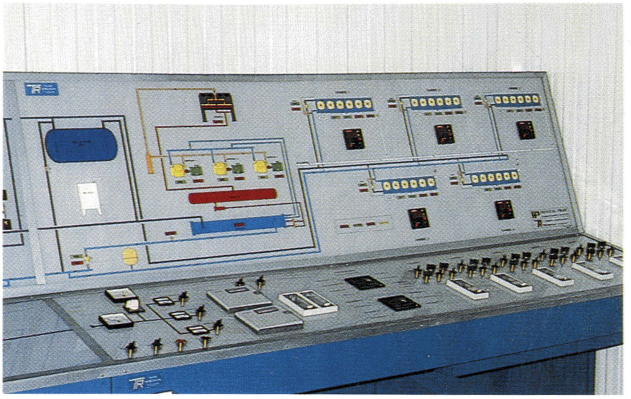
Générateur d'azote à fibres creuses.

Générateur d'azote à tamis moléculaires (P.S.A.).

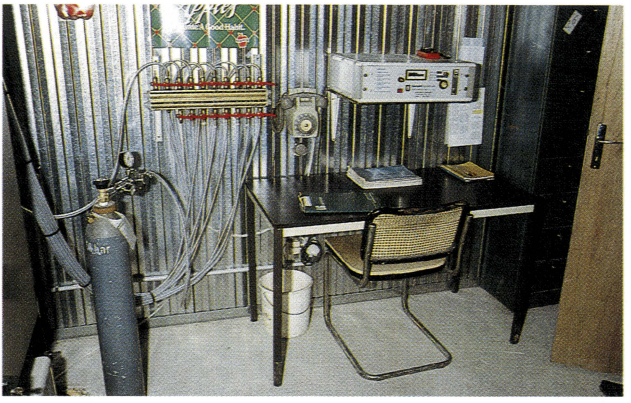


Adsorbeur individuel de CO_2 à charbons actifs.

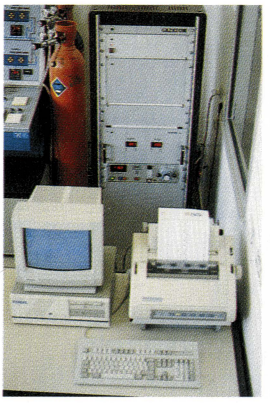
ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE



Pupitre de commande en réfrigération indirecte R22/eau glycolée.



Analyseur physique pour O_2 et CO_2 en position centralisée à commande manuelle.



Système de surveillance de climat de chambres d'atmosphère contrôlée.

Il est également possible de dégivrer à l'électricité en disposant des résistances autour des tubes, à travers les ailettes ou à l'intérieur des tubes. Ce type de dégivrage est programmable, mais il faut que l'évaporateur soit prévu à cet effet. Simple et efficace, le dégivrage électrique est très intéressant pour les basses températures. Mais il est coûteux en investissement et en fonctionnement.
- Par l'intérieur, le dégivrage peut être obtenu par gaz chauds inversant l'évaporateur. Celui-ci devient le condenseur d'un autre évaporateur ou d'un échangeur chauffé à l'eau ou par résistances électriques. Le procédé est efficace si le givre n'est pas trop épais. La mise au point de l'automatisme est délicate.
Le dégivrage interne peut également être obtenu par liquide chaud. En détente directe, on effectue dans l'évaporateur à dégivrer un sous-refroidissement du liquide chaud. Celui-ci est envoyé dans les autres évaporateurs de l'installation montés en parallèle avec à dégivrage successif. Le procédé est économique en froid, mais il est lent. Il peut être automatisé pour les installations importantes.
Dans les installations utilisant un liquide incongelable, on fait circuler de la saumure réchauffée à la place de la saumure froide dans la batterie froide.

Efficacité du dégivrage

Il faut apporter de la chaleur pour réchauffer le givre et le frigorifère jusqu'à 0 °C puis pour fondre le givre.
La dépense est en fait plus élevée en raison des pertes par convection entre l'atmosphère interne du frigorifère et la chambre froide et des pertes par conduction par les parois du frigorifère. Pour réduire ces pertes, il faut isoler le frigorifère par des volets ou des clapets lors du dégivrage et adjoindre une isolation thermique, surtout en chambres à température négative.
Plus le dégivrage est fréquent, plus il est coûteux, en raison du réchauffement de la batterie.
Remarque importante : Tout le givre ne fond pas sur la batterie. Lors du réchauffage, une partie du givre se détache sous forme de coquilles de glaces qui tombent dans la cuvette. Celle-ci doit donc être chauffée avec une faible capacité thermique et bien isolée afin d'assurer une fonte et une évacuation totales du givre. Si l'on travaille en température négative, le siphon indispensable en atmosphère contrôlée doit être situé hors de la chambre, ainsi que l'évacuation des eaux de dégivrage. Le comptage des eaux de dégivrage donne une excellente appréciation des conditions de fonctionnement de la chambre.

5 Equilibre évaporateur/compresseur

Dans un évaporateur, en détente directe, la diminution de la pression d'évaporation entraîne une augmentation du Dt, écart entre la température d'évaporation et la température de l'air soufflé, ce qui aug-

mente le transfert de chaleur. La puissance de l'évaporateur augmente. L'effet n'est pas du tout le même pour le compresseur. La diminution de la pression entraîne une diminution de la puissance car la densité du gaz à aspirer est de plus en plus faible. Il existe cependant un point d'équilibre entre les deux dans des conditions données, illustré sur la *figure 3.14*. Si ce point d'équilibre est trop bas, on se trouve dans des conditions de givrage. La pression d'aspiration va continuer à baisser, accroissant d'autant plus le phénomène que la batterie est plus petite.

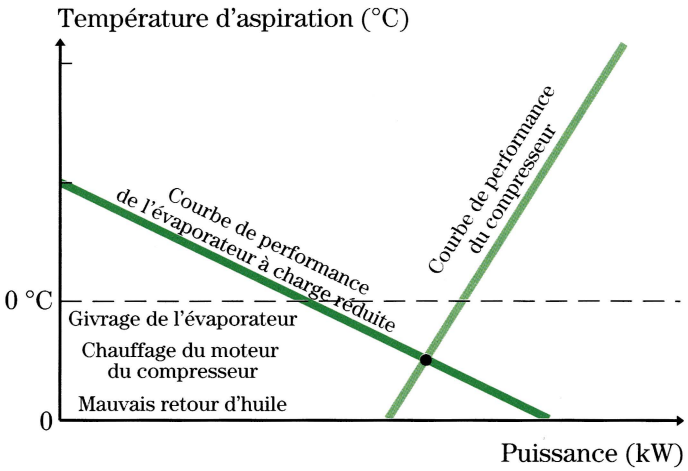


Figure 3 - 14

Equilibre Compresseur-Evaporateur (d'après Trane, 1979).

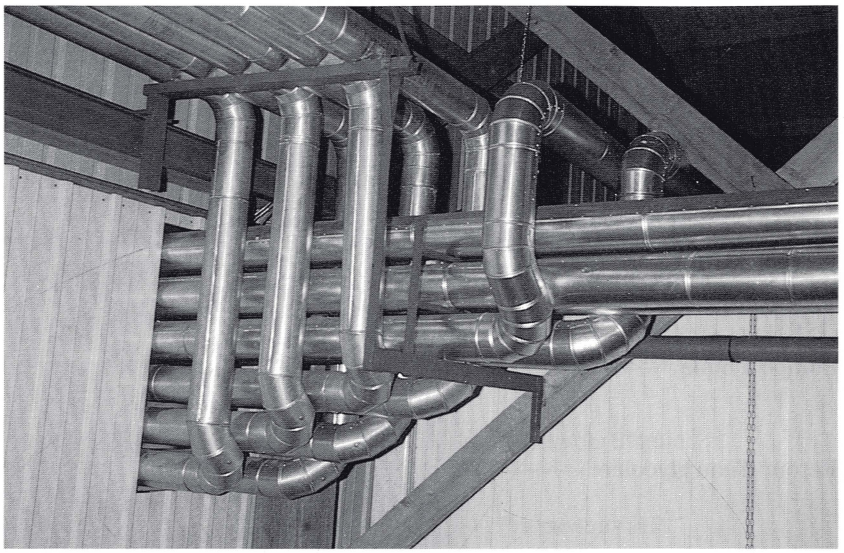
Difficultés de fonctionnement à charge minimum

6 Ventilation

Les conditions de ventilation sont différentes en refroidissement et en réfrigération. Cette différence est appréciée par un ratio, le taux de brassage. La ventilation s'obtient par une diminution de la vitesse de rotation des ventilateurs à l'aide d'un moto-variateur ou d'un moteur à deux vitesses. Bon compromis coût efficacité, la deuxième solution est la plus répandue. Si en petite vitesse, le débit demeure trop élevé, on arrête un ventilateur sur deux. Afin d'éviter tout déséquilibre, le fonctionnement redevient complet lorsque la batterie froide est alimentée. Les vitesses frontales dans l'évaporateur sont comprises entre 2 et 4 m/s. Lorsque la vitesse de circulation de l'air entre les pallox descend en deçà de 0,2 à 0,10 m/s, les phénomènes de convection prédominent, les conditions ne sont plus suffisamment homogènes dans la chambre.
La programmation des ventilateurs est un vaste sujet d'études.

Tuyauteries

Si le compresseur est le coeur de l'installation, les tuyauteries en sont les artères et les veines. Elles sont en acier avec l'ammoniac, en cuivre avec le R22.



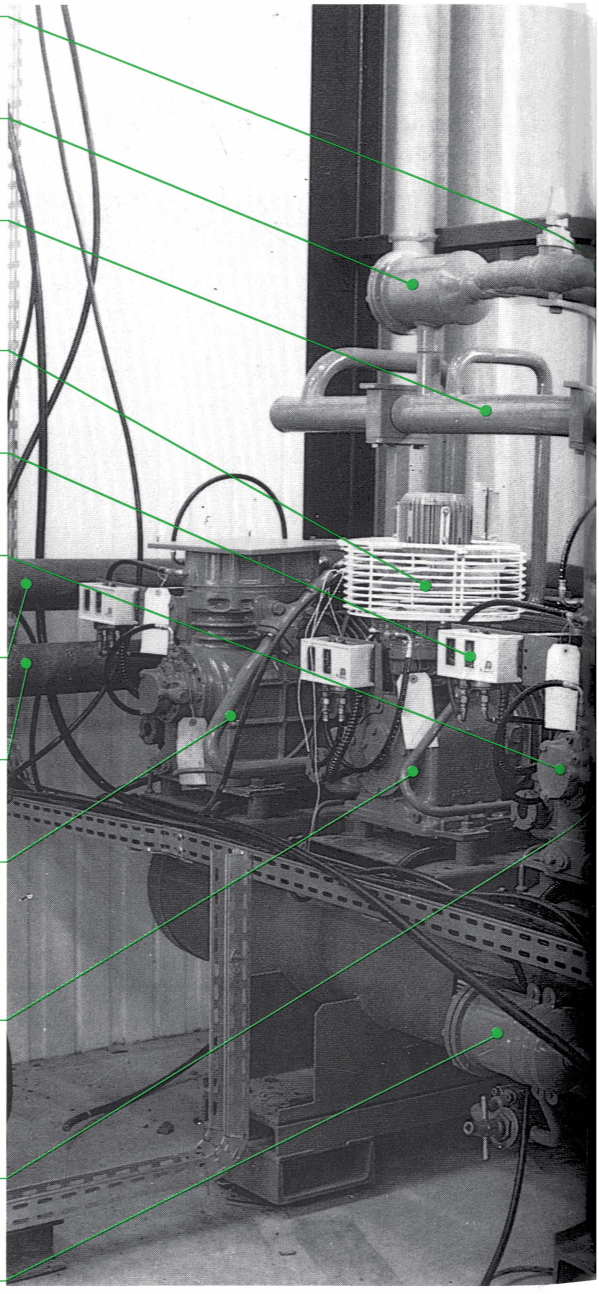
Tuyauteries d'eau glycolée isolées sous tôle isoxal

Leur dimensionnement, leur tracé, la présence de cols de cygne et de siphons là où il faut, sont des facteurs de bon fonctionnement de l'installation. Une mauvaise conception des tuyauteries peut rendre une installation incontrôlable, avec bris de machine et difficultés sans nombre et sans fin, sauf à refaire le réseau.

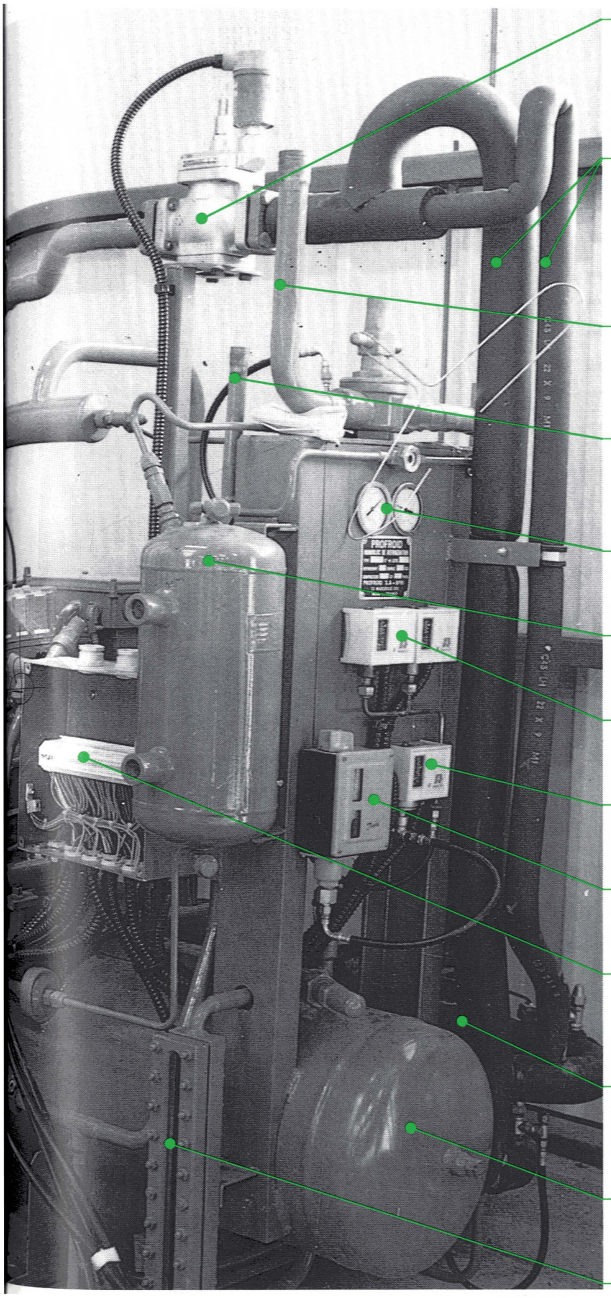
ABSOGER s.a.
ATMOSPHÈRE CONTRÔLÉE U.L.O.
Longue conservation des fruits

- ABSORBEURS OXYGÈNE
- ABSORBEURS GAZ CARBONIQUE
- CATALYSEURS D'ÉTHYLÈNE
- ANALYSEUR ÉLECTRONIQUE

Font de Tuile 82100 LES BARTHES
Tél. 63 31 63 76 - 63-31-50-60 - Télécopie 63 31 51 42



Détail des éléments d'une centrale frigorifique expérimentale mixte R22 en détente directe et R22 / eau glycolée en réfrigération indirecte, en montage



Vanne éléctronique de régulation de température d'évaporation

Double retour gaz de l'échangeur R22 / eau glycolée avec cols de cygne pour retour d'huile

Retour liquide du condenseur

Départ liquide vers l'évaporateur

Manomètres BP et HP

Réservoir d'huile

Pressostats HP

Pressostat BP Pump down

Pressostat BP à plage neutre

Boîtier de connexions électriques

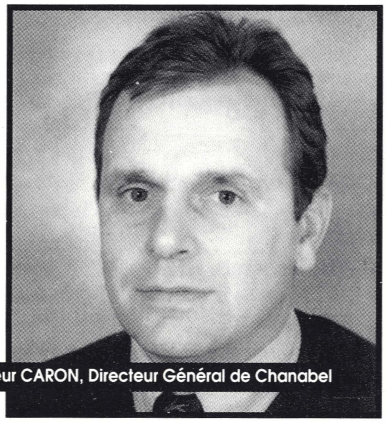
Echangeur R22 / eau glycolée (caché)

Bouteille accumulatrice du R22

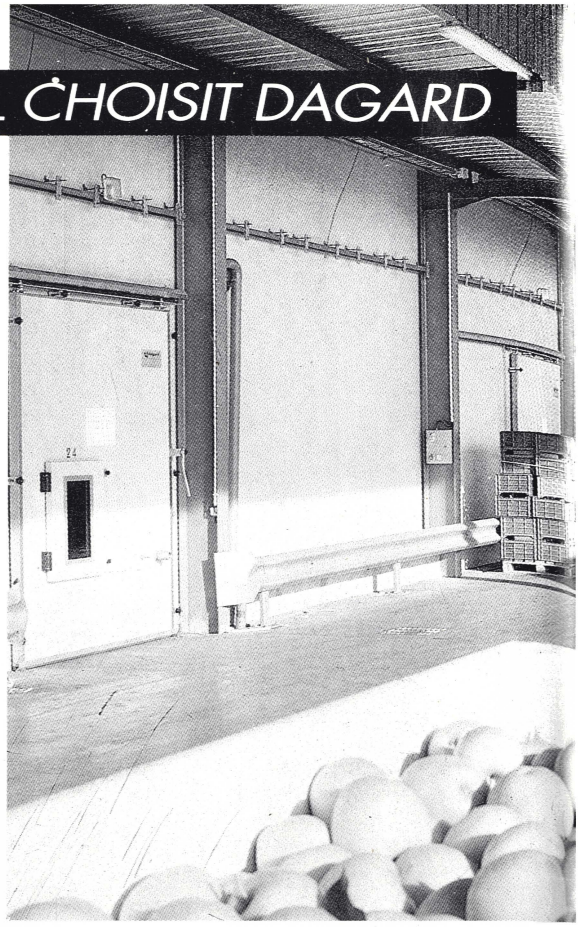
Niveau liquide de R22

S.I.C.A. CHANABEL CHOISIT DAGARD

DAGARD A LA CONFIANCE DES SPECIALISTES DE L'ATMOSPHERE CONTROLEE



Monsieur CARON, Directeur Général de Chanabel



Dans une chambre de stockage à atmosphère contrôlée, la qualité de l'enceinte est aussi importante que celle de l'équipement frigorifique ou du système de contrôle de l'atmosphère (la bonne conservation d'une année d'efforts et de travail est un enjeu trop important pour prendre des risques). Chanabel (Salise sur Sanne - 38), dont l'activité est tournée vers la conservation de fruits (pommes, pêches à +2°C/+3°C) et la congélation de fruits rouges (framboise, cassis à -35°C) l'a très bien compris. Elle a une nouvelle fois choisi DAGARD, 1er fabricant européen d'enceintes isolantes, qui lui a fourni un lot de 11 chambres représentant un volume total de 11 000 m³. DAGARD a su adapter ses moyens en apportant une prestation globale ; les solutions techniques les plus avancées ont été mises en œuvre pour répondre à des normes très strictes fixées par le cahier des charges.

dagard
le savoir-faire en isolation
Route du Stade 23600 BOUSSAC (France)
Tél.: 55 82 40 00 - Télex: 590327 - Fax: 55 65 10 00

4 ATMOSPHERE CONTROLEE

COMMENT FAIT-ON DE L'ATMOSPHÈRE CONTROLÉE ?

L'atmosphère contrôlée consiste à réduire la teneur en oxygène (O_2) et augmenter celle de dioxyde de carbone (CO_2) dans la chambre, afin de prolonger l'entreposage frigorifique des pommes et des poires.

L'atmosphère contrôlée (A.C.) contribue à ralentir l'évolution physiologique du fruit, tout en ménageant ses possibilités ultérieures de maturation, après retour à température et à atmosphère normale. L'usage de l'A.C. est maintenant largement répandu et fait l'objet de deux normes de l'Organisation Internationale de Normalisation :

- Pommes : entreposage en atmosphère contrôlée I S0 8682 : 1987.
- Fruits et légumes : principes et techniques de la méthode d'entreposage en atmosphère contrôlée I SO 6949 : 1988.

La composition gazeuse de l'A.C. est très différente de l'air ambiant. L'air normal contient 78,1 % d'azote (N_2), 20,9 % d'oxygène (O_2), 0,03 % de dioxyde de carbone (CO_2), alors que l'A.C. contient 91 % de N_2, 3 % d'O_2 et 5 % de CO_2 par exemple.
Les conditions d'applications de l'atmosphère contrôlée aux différentes variétés de pommes et de poires seront envisagées dans le Tome 2.

La barrière d'étanchéité aux gaz

COMMENT RÉALISER L'ÉTANCHÉITÉ AUX GAZ ?

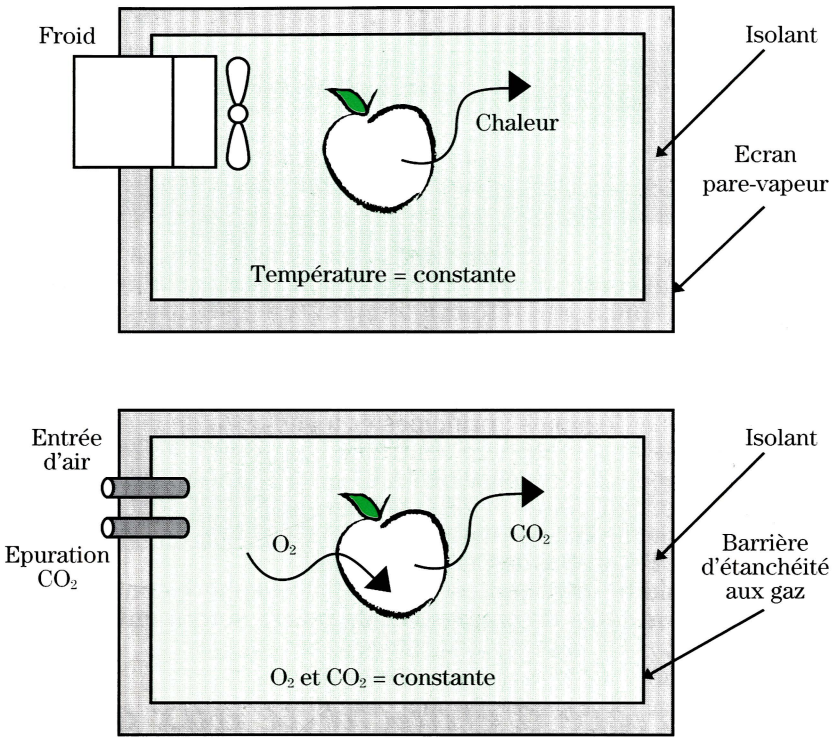
La composition de l'air extérieur étant très différente, en A.C., de celle de la chambre, une barrière d'étanchéité aux gaz est indispensable. Avec le développement des panneaux sandwichs intégrés, elle est réalisée par des enduits à base de silicone, sur la face interne du bardage des panneaux. Une grande attention doit être apportée à sa pose et un soin particulier est nécessaire pour toutes les traversées de paroi. Pour le sol, l'application d'une couche d'asphalte de 20 à 30 mm d'épaisseur constitue une excellente solution.

L'A.C. est réalisée dans la chambre d'entreposage des fruits. Il convient que l'enceinte soit la moins perméable possible au passage de gaz tels

que l'oxygène, qui ont tendance à diffuser de l'extérieur vers l'intérieur. Pour demeurer au niveau d'équilibre souhaité, la consommation d'O_2 par respiration des fruits doit être supérieure aux entrées parasites, le CO_2 doit être partiellement épuré de la chambre. Ainsi une barrière analogue à l'isolation pour le maintien de la température doit séparer les deux milieux. La *figure 4.1* illustre cette nécessité.

Figure 4 - 1

Analogie Froid. Atmosphère Contrôlée



L'isolation ne fait que ralentir les transferts thermiques. La température, pour rester stable, a besoin du froid de la machinerie frigorifique. De même, la barrière d'étanchéité aux gaz n'est pas absolue et nécessite un appareillage pour maintenir stable la composition gazeuse de l'atmosphère.

1 Propriétés de la barrière

Pour être efficace, les matériaux constitutifs de la barrière doivent satisfaire un certain nombre de conditions :

- Faible perméabilité aux gaz et à l'air dans une large gamme de température et de pression et d'humidité.
- Elasticité pour résister aux chocs et à la dilatation.
- Facilité de mise en œuvre et de réparation.
- Insensibilité aux dégradations par les micro-organismes.
- Absence d'odeur.
- Absence de dégagement toxique, au moins après le délai normal de séchage.

La barrière peut être réalisée à l'extérieur de l'isolation, à l'intérieur de celle-ci, ou être indépendante à l'intérieur. L'écran pare-vapeur externe à l'isolation, ne présente pas une étanchéité suffisante pour l'O_2 et le CO_2. Celle-ci est limitée à la vapeur d'eau. Par contre, la barrière d'étanchéité aux gaz constitue un excellent pare-vapeur.

2 L'étanchéité externe

L'étanchéité externe est obtenue avec de la tôle d'acier épaisse nervurée et soudée, tel le procédé Isométal (*photo page 19*). La tôle constitue simultanément l'écran pare-vapeur et la barrière d'étanchéité au gaz, la soudure en assure la continuité. Les problèmes de condensation à l'intérieur de l'isolant sont éliminés. Dans ces conditions, il est possible d'utiliser un isolant très sensible à la vapeur d'eau, telle la fibre de verre, qui présente par ailleurs l'avantage d'être ininflammable. L'épaisseur de la tôle permet aussi de réduire la charpente et de se passer de toiture.

3 L'étanchéité interne sur paroi

Formule la plus courante, l'étanchéité interne sur paroi fait appel aux matériaux les plus variés, enduits bitumineux, plaques métalliques, complexe aluminium/asphalte, résines polyesters. Armée ou non de fibre de verre, appliquée sur des plaques de polystyrène, la résine polyester est la plus utilisée. Son usage suppose une bonne efficacité de l'écran pare-vapeur, afin d'éviter l'accumulation d'eau, le décollement et la fissuration de la résine.

L'avènement des panneaux sandwichs a permis d'éviter ce principal inconvénient puisque l'écran pare-vapeur est constitué par une tôle légère nervurée. Cependant, les liaisons inter-panneaux doivent être bien réalisées. L'étanchéité intérieure aux gaz reste nécessaire avec des résines à base de silicones, soit en totalité de surface, soit par économie de matière et surtout de main-d'œuvre, limitée aux zones de jonction. Les panneaux Dagard à serrage par excentrique et joints incorporés ne nécessitent pas de dispositif d'étanchéité interne supplémentaire sur la paroi.

Etanchéité gaz limitée à la jonction des panneaux sandwichs

4 L'étanchéité interne flottante

L'étanchéité interne flottante est réalisée avec des bâches plastiques en polychlorure de vinyle (P.V.C.), armées, suspendues au plafond et aux parois (type Bonomi), ou sur une armature métallique (type Bachmann). Pour cette dernière, la liaison au sol est réalisée par un pincement entre cornières ou par une rigole périphérique remplie d'eau où plonge le bas de l'enveloppe convenablement lestée. Cette technique a permis de transformer facilement des chambres de froid normal en A.C., notamment en permettant de les cloisonner. Les principales difficultés viennent de la maîtrise des problèmes de condensation, malgré la présence d'astucieux dispositifs de vidange des poches d'eau, et de l'entretien. Elles amortissent remarquablement les variations de pressions.

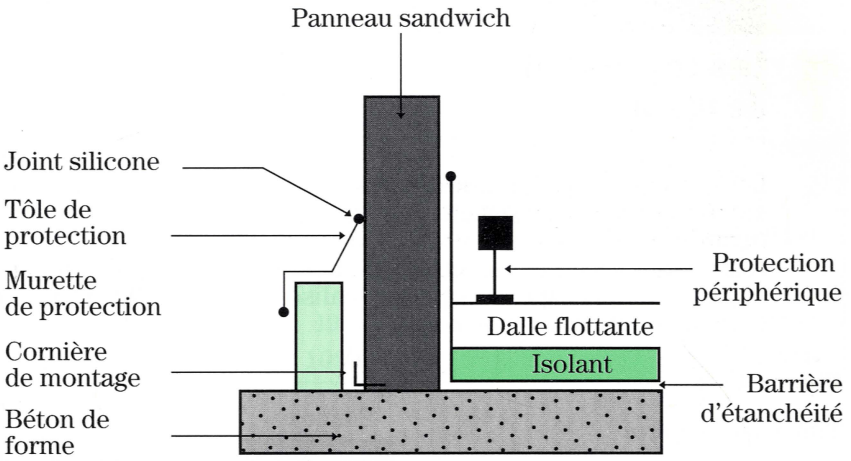
5 L'étanchéité du sol

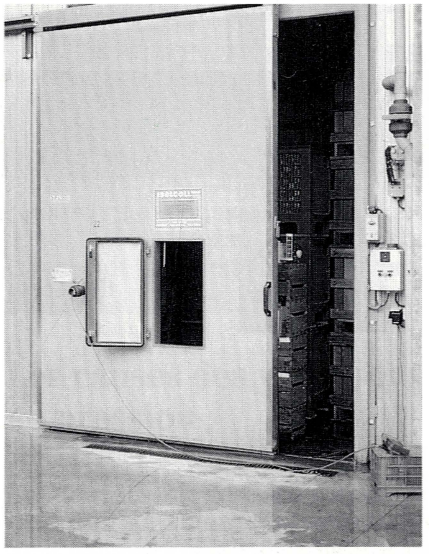
Une couche d'asphalte de 20 à 30 mm, des résines Epoxy, un traitement de surface du béton assurent facilement l'étanchéité du sol. Lorsque le sol est isolé, de la mousse de polyuréthanne haute densité appliquée sur la dalle de propreté sous l'isolation assure une excellente barrière d'étanchéité et simultanément un bon écran pare-vapeur.

La présence d'eau au sol pour assurer une étanchéité en cours de conservation, ne doit être considérée que comme un palliatif à éviter dès que possible par une reprise de la barrière d'étanchéité.
La jonction sol-paroi, avec remontée des barrières pare-vapeur et gaz sur l'isolation murale doit faire l'objet de la plus grande attention. Un exemple de montage est fourni dans la *figure 4.2*.

Figure 4 - 2

Liaison paroi-sol, exemple





Porte motorisée avec portillon de visite pour atmosphère contrôlée

6 Menuiseries

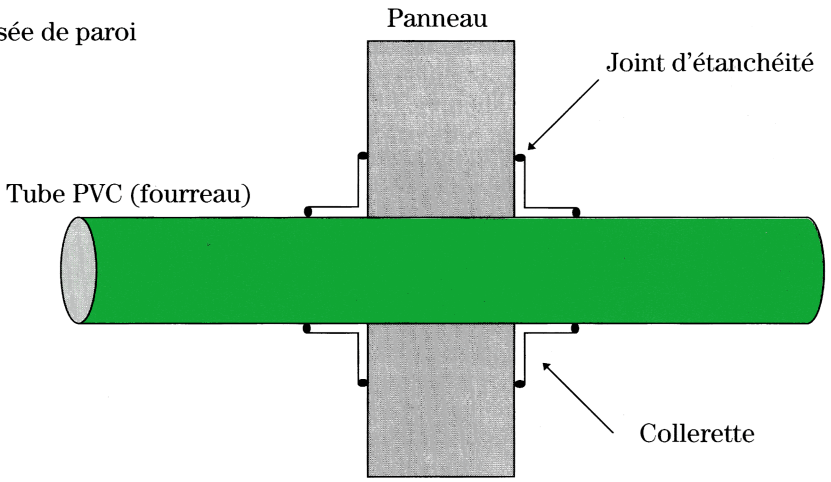
L'atmosphère contrôlée nécessite des portes spécifiques étanches au gaz, dotées d'un hublot ouvrant pour le contrôle visuel ou d'éventuelles visites. L'étanchéité contre le chambranle et au sol est assuré par un joint caoutchouc, plein, à feuillures ou gonflable. Dans les deux premiers cas, il est écrasé par le système courant de fermeture associé à des volants de serrage ou à des excentriques. Dans le troisième cas, un manomètre permet de contrôler la pression de gonflage.

7 Les traversées de paroi

Les traversées sont multiples, des supports d'évaporateur suspendu, aux nombreux câblages électriques ou de mesures, en passant par les tuyauteries de l'A.C. Le nombre de perforations peut être réduit en regroupant les câbles au niveau d'un presse-étoupe mécanique, ou en utilisant un passage en siphon, réalisé en coude PVC rempli d'une huile incongelable (*figure 4.3*).

Figure 4 - 3

Traversée de paroi



8 Le rôle de la diffusion

La barrière d'étanchéité aux gaz n'est pas absolue. La diffusion d'oxygène au travers des matériaux s'ajoute à la convection par les orifices ou fissures.

La diffusion dépend principalement de la nature des matériaux utilisés comme va l'illustrer l'exemple suivant.
Suivant la nature du matériau, on observe une différence de 1 à 5 dans la diffusion d'oxygène. La valeur la plus élevée correspond à la consommation quotidienne d'oxygène de 6,2 t de pommes.

Tableau 4.I

Soit une chambre : capacité 240 tonnes, volume brut 1061 m³, densité 230 kg/m³, longueur 14,65 m, largeur 9,35 m, hauteur 7,75 m, surface sol au plafond 137 m², surface paroi 372 m²			
	Litre d'O_2 par 24 h		Litre d'O_2 par 24 h
Sol 10 cm d'asphalte + 10 cm de béton	300	**Sol** 10 cm de béton	1020
Paroi 10 cm polyuréthanne avec peau	530	**Paroi** 10 cm de polystyrène avec peau	3150
Plafond 10 cm de polyuréthanne avec peau	190	**Plafond** 10 cm de polystyrène avec peau	1160
TOTAL	**1020**		**5330**

L'équilibrage des pressions

ATTENTION, PRÉVOIR DES SOUPAPES DE SÉCURITÉ !

Les variations de pressions entre l'intérieur et l'extérieur sont dues aux fluctuations de température de ventilation, de pression atmosphérique, de vent et du traitement d'air. Pour les équilibrer, il est obligatoire de disposer de soupapes, mécaniques ou hydrauliques, correctement dimensionnées. En petites chambres de quelques centaines de m³ et dans la pratique des très basses teneurs d'O_2 (environ 1 %) des ballons de compensation peuvent être utiles.

1 Les causes des variations de pression

Les variations de pressions entre l'intérieur et l'extérieur de la chambre sont nombreuses et la structure mécanique de l'enceinte ne peut résister à une trop grande différence. L'effondrement de plusieurs plafonds de chambres est là pour le rappeler.

Température intérieure

Le refroidissement, chambre vide, de 1060 m^3 d'air (cas de notre exemple), de 25 à 0°C entraîne une diminution de pression de 9300 pascals (Pa) ce qui correspond à une force exercée de 930 kgf au m^2, largement supérieure à la surcharge admise pour le bâtiment. Ceci bien sûr dans l'hypothèse de la chambre totalement étanche. Une variation de 1°C de la température à 0°C, engendre une différence de pression de 370 Pa, soit 37 kgf par m^2.
Une méthode simplifiée (DTU.45.1) indique le débit d'air à introduire ou extraire d'un local pour limiter la variation de pression à 300 Pa (30 mm de colonne d'eau) lors d'une diminution de la température intérieure de 1°C par 15 mm.
Dans notre cas, cela représente un débit de 11 m^3/h.

L'effet de la ventilation

Le fonctionnement des ventilateurs crée une dépression à l'aspiration et une surpression au soufflage, l'amplitude est de l'ordre de 100 à 150 Pa soit 10 à 15 kgf/m^2. Son effet se combine au précédent en fin de dégivrage.

La pression atmosphérique

Elle peut atteindre des valeurs extrêmes de 2700 à 4000 Pa soit 270 à 400 kgf/m^2. Des variations quotidiennes de 20 à 30 mm de Hg correspondant à une fourchette de 1333 à 2000 Pa, ou à des forces de 130 à 220 kgf/m^2 sont courantes.

Le vent

Il ne faut pas négliger le vent en zone atlantique ou dans le couloir rhodanien où souffle le mistral. Un vent de 100 km/h (force 10 de l'échelle Beaufort = Tempête), exerce une pression de 48 kgf/m^2. Et les vents forts sont souvent combinés à une chute de pression barométrique. Lors de tempête, des cloisons légères ont été soufflées par le vent qui avait pénétré par des portes donnant directement sur l'extérieur.

Le traitement d'air

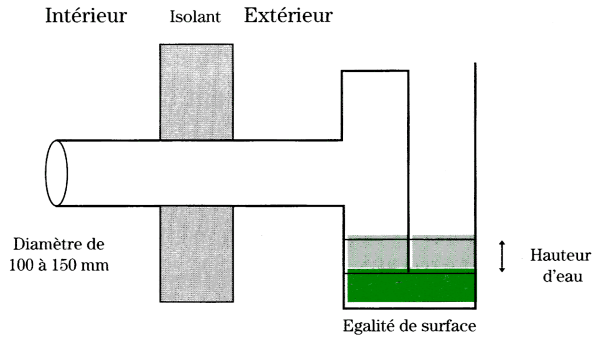
L'absorption du CO_2 et la destruction de l'O_2 occasionnent une dépression. Il faut veiller à ce que les systèmes utilisés n'entraînent pas des variations de pression trop importantes.
L'ensemble de ces effets peut s'additionner et s'avérer gênant quand il ne permet plus de maintenir le taux de O_2 souhaité, dangereux quand il entraîne des fissures et carrément dévastateur lorsqu'il y a destruction de la chambre. Il y a donc lieu de monter impérativement des dispositifs d'équilibrage de pression, soupapes et éventuellement ballons d'équilibrage.

2 Les soupapes d'équilibrage

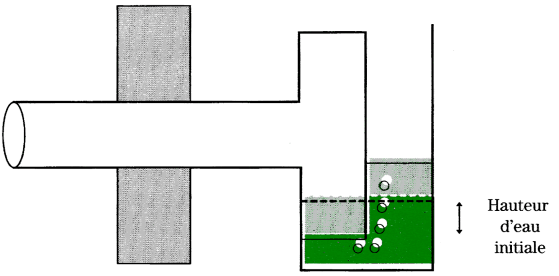
Ces soupapes servent à équilibrer rapidement les différences de pression entre intérieur et extérieur d'une chambre. Elles procèdent par contrôle du débit d'air qui les traverse par convection. Leur section doit être assez importante pour laisser passer le volume d'air nécessaire. L'ordre de grandeur de ces débits a été évoqué plus haut. Les soupapes hydrauliques et les soupapes mécaniques sont les plus fréquentes.

Figure 4 - 4

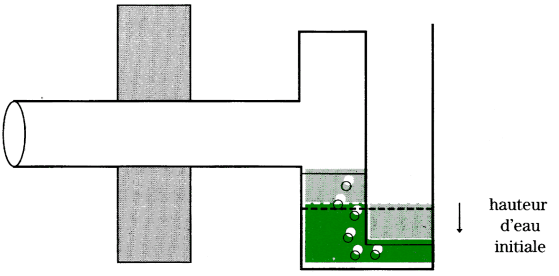
Principe de fonctionnement de la soupape hydraulique



Equilibre : Pression interne = Pression externe



Surpression interne ou dépression externe : l'air s'échappe
Pression interne supérieure à la Pression externe



Dépression interne ou surpression externe : l'air s'introduit
Pression interne inférieure à la Pression externe

Nous allons en illustrer deux types les plus courants :

La soupape hydraulique

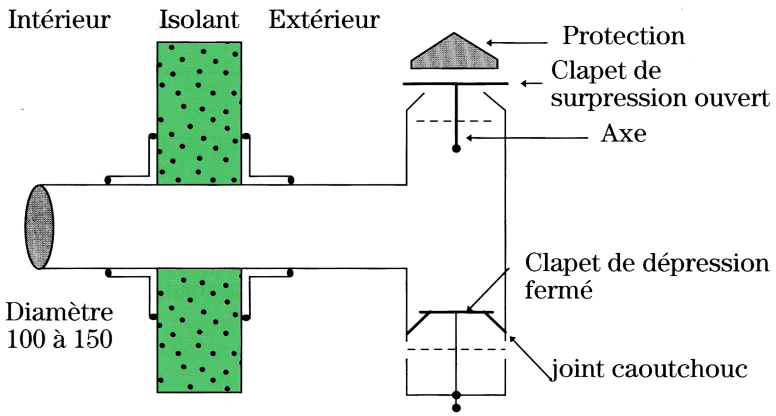
La figure 4.4 précise ses principales caractéristiques et son fonctionnement est indiqué. La parfaite horizontalité du montage, l'égalité des surfaces et le réglage de la hauteur d'eau (10 à 15 mm de C.E.) conditionnent son efficacité. Le contrôle du niveau (eau glycolée en antigel avec un film d'huile éventuel pour ralentir l'évaporation), reste indispensable. Les traces de leur fonctionnement sont décelables par les éclaboussures sur les parois qui mettent quelques temps à sécher. Le passage d'air provoque des remous et un bruit de glouglou tout à fait caractéristique. Il existe des variantes.

La soupape mécanique

Ces clapets tarés se soulèvent de leur siège lorsque la valeur de la pression dépasse celle de leur tarage. Il faut s'assurer périodiquement de leur bon fonctionnement qui peut être entravé par un léger collage du clapet sur son siège en caoutchouc (réduit par du talcage), ou par des condensations avec givre sur l'axe de déplacement du clapet (évitables avec un léger graissage). Il existe également des variantes, à clapets verticaux (*figure 4.5*).

Figure 4 - 5

Soupape d'équilibrage à clapets horizontaux



L'emplacement des soupapes

Cet emplacement n'est pas neutre, car il faut éviter les zones de surpression ou de dépression de la chambre : proximité de l'évaporateur, des angles, des départs et arrivées de tuyauteries de l'A.C. Pour des raisons pratiques, les soupapes sont le plus souvent disposées sur la paroi donnant sur le couloir, éventuellement au plafond. Il faut veiller à ce qu'elles ne soient pas soumises directement au vent.

3 Les ballons de compensation

Encore appelés sacs pneumatiques ou breather bags chez les Anglo-saxons, ils permettent d'amortir les variations de pression. Leur principal avantage est de ne pas entraîner de changement de la composition gazeuse de l'atmosphère. Une soupape d'équilibrage reste indispensable pour la sécurité du bâtiment.
Ils sont suspendus sous toiture ou en couloir, de façon à limiter leur seuil de fonctionnement. Leur branchement à la chambre est court et de large section, pour réduire les pertes de charge. Ils sont bien entendu, réalisés en matière plastique étanche aux gaz.
Principalement utilisés pour les petites chambres pour lesquelles une entrée d'air parasite a plus d'importance relative sur la composition de l'A.C., ils connaissent un regain d'intérêt avec les chambres à très basses teneurs en oxygène. Ils sont calculés sur la base d'environ 7 % du volume d'air réel de la chambre, fruits et emballages déduits, c'est à dire les 2/3 du volume brut.
Dans notre exemple, cela correspond à 50 m^3.

$$\frac{1099 \times 2 \times 7}{3 \times 100} = 51{,}3\ m^3$$ ***arrondi à 50 m^3, ce qui fait 4,7 % du volume brut***

Les tests d'étanchéité

VÉRIFIEZ L'ÉTANCHÉITÉ DES CHAMBRES

Les tests d'étanchéité sont destinés à savoir si la chambre a une étanchéité suffisante pour faire de l'A.C. Le plus courant est le test de surpression. Il consiste à introduire de l'air dans la chambre, et à surveiller à quelle vitesse la pression baisse. On est passé d'une valeur de demi-pression atteinte en 20 à 30 minutes l'A.C. classique, à une valeur de 1/2 pression atteinte en une heure au moins, pour les très basses teneurs de l'ULO.

Ces tests permettent de contrôler l'étanchéité des chambres froides notamment au moment de la réception des travaux, et avant chaque campagne de conservation.

1 Test de diffusion

Ce test consiste à introduire du dioxyde de carbone (CO_2) sous forme gazeuse ou à partir de neige carbonique jusqu'à 5 %. On recherche une efficacité de 0,96 à 0,98 soit par exemple, 0,97. Le taux de CO_2 ne devra

Pour une efficacité de 97 % et un taux initial de CO_2 de 5 %, la diminution de CO_2 doit être de 0,15 % par jour :

$$0{,}97 = 1 - \frac{x}{5} \Rightarrow x = 0{,}15$$

Il doit rester 4,7 % de CO_2 dans la chambre au bout de deux jours. Ce test est difficile d'emploi, en raison de sa longueur. Il est le seul adapté aux bâches flottantes.

2 Test de convection

Ces tests se différencient en test de surpression et test de débit.

Test de surpression

Ce test consiste à augmenter la pression interne de la chambre par apport d'air extérieur et à suivre l'évolution de la pression dans le temps. Plus la descente est lente, meilleure est l'étanchéité.
Initialement fixée entre 20 et 25 mm de CE (25,4 chez les Américains car cela correspond à un pouce), la valeur de surpression se situe désormais entre 10 et 15 mm de CE. Le poids du plafond en panneaux sandwichs est fixé comme limite de sécurité. Cette limite se situe donc entre 30 et 40 mm de CE puisque ces panneaux pèsent de 30 à 40 kg par m^2. D'abord relativement rapide, la diminution de pression se ralentit. Sa formulation mathématique est exponentielle, suivant la formule établie par MM. ULRICH et MARCELLIN (*figure 4.6*).

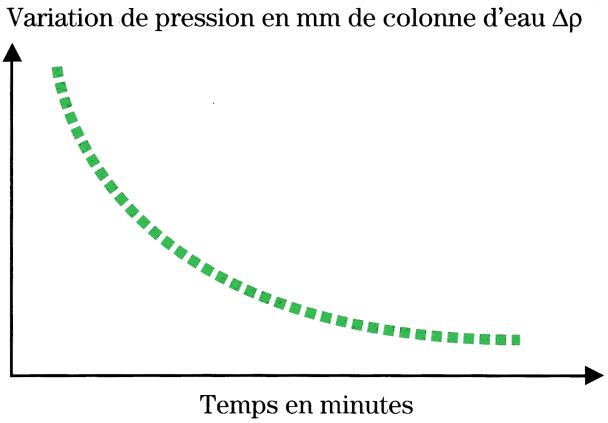


Figure 4 - 6
Evolution de la surpression de la Chambre

L'abaque de la *figure 4.7* facilite l'usage du test, il est aisé de s'y rapporter. Cette abaque a été définie pour une densité de chargement de 220 kg/m^3 et une teneur en O_2 de 3 %. La valeur à retenir est celle de la demi-pression atteinte en 20 minutes. Avec les très basses teneurs, on se réfère aux 3/4 de la pression en 1 heure.

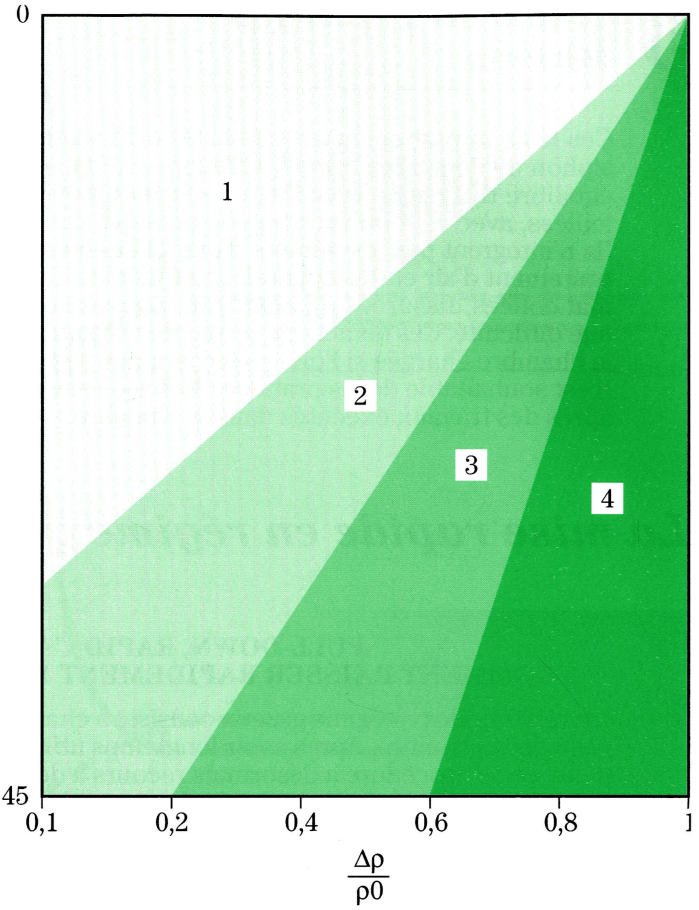


Figure 4 - 7

Abaque du test de pression

1 : insuffisant
2 : acceptable
3 : très bon
4 : excellent

Usage A.C. standard : 15 à 7,5 mm de CE en 20 minutes.
Usage A.C. ULO : 15 à 11,2 mm de CE en 60 minutes.

La mesure de pression se fait avec un manomètre incliné type Peclet. Le principal inconvénient de ce test est qu'il travaille dans le sens où l'air s'échappe de la chambre, ce qui ne modifie pas la composition de l'A.C., mais ce n'est pas non plus le cas le plus fréquent, ni le plus gênant.

Test de débit

Ce test consiste à pratiquer une légère dépression, 4 à 5 mm de CE, par aspiration de l'air de la chambre et à mesurer le débit d'air à fournir pour que cette valeur reste constante. La formule établie par Meffert est la suivante :

$$Q = 0{,}84\ \pi\ \frac{d^2}{4}\ \frac{\sqrt{2\Delta P}}{\sqrt{e}}$$

Q = débit d'air
d = diamètre du tuyau
ΔP = valeur de la dépression
e = masse volumique de l'air

Cf. Besseling Agri-technic. B.V. Bulletin DB 33 011. Ro. Mai 1988

3 Conditions d'exécution des tests

Ces tests se pratiquent avec tous les orifices de la chambre obturés, siphon de dégivrage rempli, ventilation et froid arrêtés, chambre en équilibre thermique avec l'extérieur. Il faut éviter les journées ensoleillées, avec vent ou variation de pression barométrique.
Ils n'intègrent pas les défauts d'étanchéité éventuels des circuits de traitement d'air et des appareils eux-mêmes. Les tuyauteries en PVC mal collées, fissurées ou simplement poreuses, peuvent constituer une difficulté. Ces défauts ne seront décelés qu'à la mise en service de la chambre chargée si l'on ne parvient pas à stabiliser le taux d'O_2.
Il est souhaitable de les pratiquer à chaque saison ou à tout le moins, après des travaux exécutés dans la chambre.

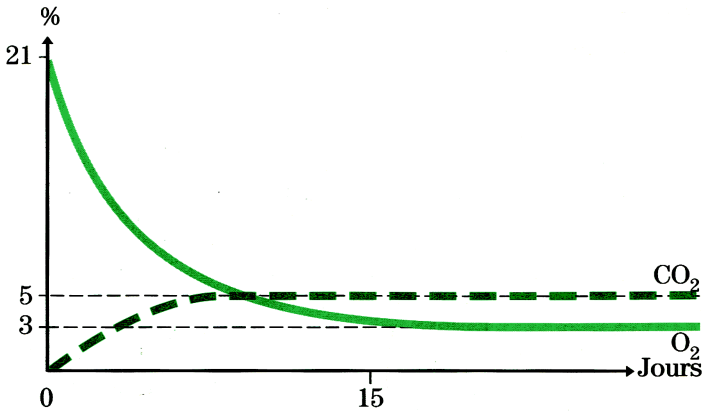
La mise rapide en régime gazeux

PULL-DOWN, RAPID CA.
COMMENT BAISSER RAPIDEMENT LE TAUX D'O_2 ?

La mise rapide en régime gazeux consiste à chasser rapidement l'oxygène de la chambre. Après avoir longtemps utilisé des brûleurs à propane, cette procédure a désormais recours à des générateurs d'azote à fibres creuses ou à tamis moléculaires, ou bien à de l'azote gazeux ou encore à des brûleurs à ammoniac.La capacité des appareils doit être adaptée pour descendre de 21 à 5 % d'O_2 en 72 heures environ. Avec la pratique des très basses teneurs, les générateurs d'azote peuvent être utilisés pour maintenir une légère surpression dans la chambre et réguler le CO_2 par balayage. Capacité à prévoir 100 m^3/h pour 450 tonnes de rentrées journalières.

Une fois la chambre froide en équilibre de température, après remplissage et fermeture A.C., la respiration des fruits consomme l'oxygène présent et dégage du dioxyde de carbone. On peut laisser se dérouler le processus naturel pour que l'oxygène descende jusqu'à la valeur désirée et commencer à épurer le gaz carbonique dès qu'il dépasse la teneur fixée. Le processus est assez lent, il nécessite de 2 à 3 semaines. Depuis longtemps, on s'est aperçu qu'il était bénéfique, tout comme pour le froid, d'effectuer une descente rapide de l'oxygène (*figure 4.8*). C'est ce que les Anglo-saxons appellent le "Pull-down". Il s'agit donc de chasser l'air présent dans la chambre pour le remplacer par de l'azote ou de consommer l'oxygène. Dans le premier cas, on travaille en circuit ouvert, dans le second, on travaille en circuit fermé (*figure 4.9*) et éventuellement en circuit ouvert (*figure 4.10*).

Figure. 4 - 8
Descente lente en O_2



Descente rapide en O_2

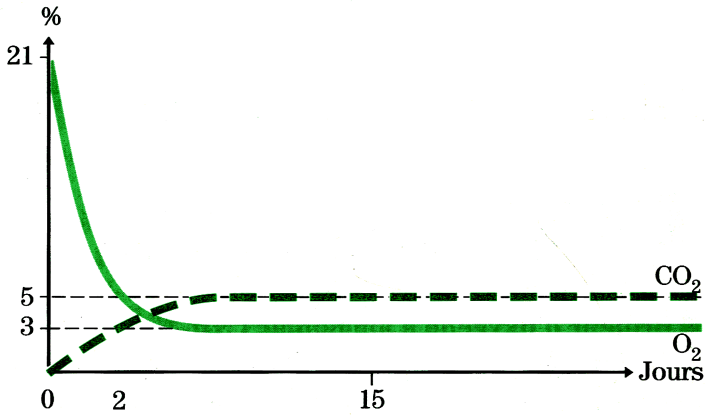


Figure 4 - 9

Descente rapide en circuit fermé

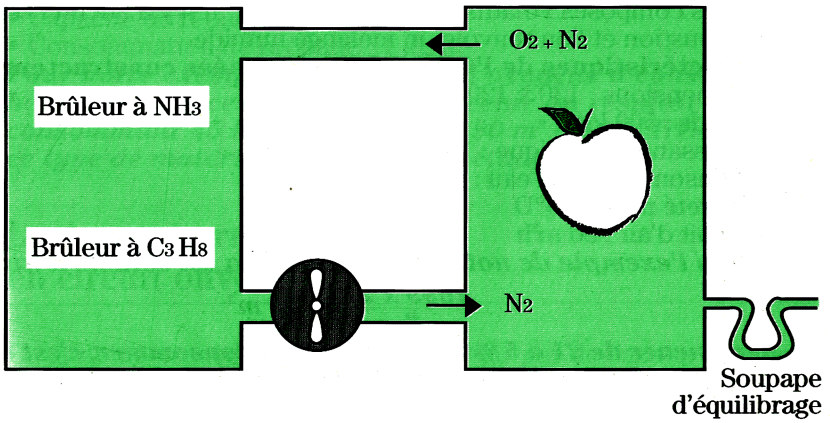
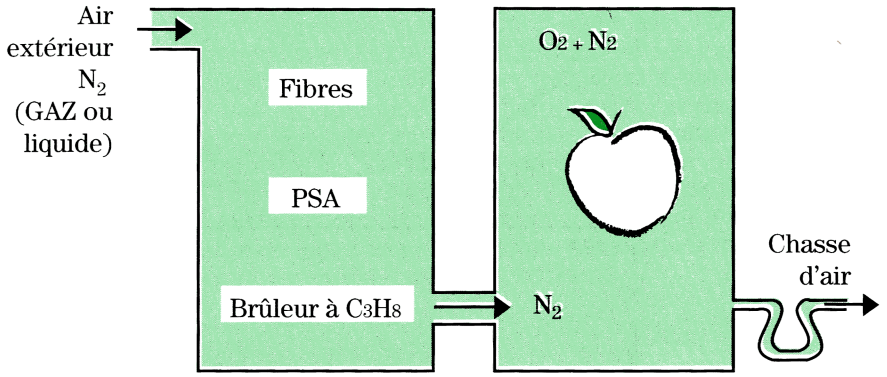


Figure 4 - 10

Descente rapide en circuit ouvert



1 La descente rapide en circuit fermé

Brûleur d'oxygène à ammoniac (NH_3)

L'azote est obtenu par cracking de l'ammoniac à haute température (880°C) par un brûleur catalytique.

$$2\ NH_3 \rightarrow N_2 + 3\ H_2$$

L'hydrogène formé est ensuite recombiné avec l'oxygène de l'air pour produire de l'eau.

$$2N_2 + 6H_2 + 3O_2 \rightarrow 6H_2O + 2N_2$$

Aspiré dans le brûleur est ainsi appauvri en oxygène, l'air de la chambre est refroidi avant d'y être refoulé. Le passage à haute température présente également l'intérêt de détruire l'éthylène et les autres composés volatils présents dans l'air. Il n'y a aucun résidu de combustion et l'on renvoie un mélange humide.

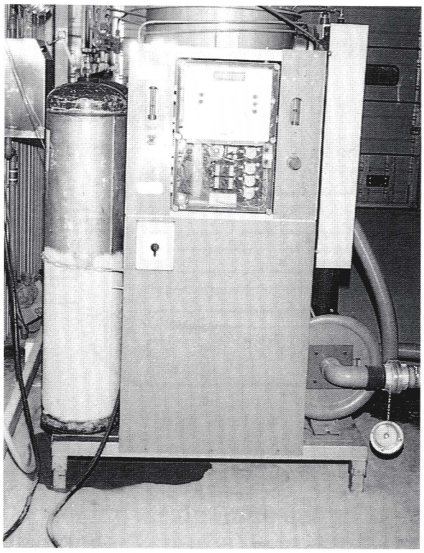
Caractéristiques de l'OXY F DUO (données constructeur).

- Dimensions : 130 x 120 x 215 mm
- Poids : 500 kg
- Puissance électrique : 15 kW
- Consommation d'eau : 1 600 l/h
- Dureté maxi : 10°D
- Débit d'air : 50 m³h

Dans l'exemple de notre chambre, il y a un volume d'air de

$$\frac{1099 \times 2}{3} = 733\ m^3$$

à ramener de 21 à 5 % soit 118 m³ O_2 à consommer, c'est à dire 118 kg de NH_3 en 42 h. Cela revient à brasser 3 fois le volume mort de la chambre.



Brûleur d'oxygène à ammoniac

Brûleur d'oxygène à propane

La combustion de l'oxygène avec le propane produit du dioxyde de carbone et de l'eau. Cette combustion s'effectue à 600°C et sans flamme, en présence d'un catalyseur.

$$C_3H_8 + 5\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + 4\ H_2O$$

Il faut donc épurer le CO_2 en excès et refroidir l'air avant de le renvoyer dans la chambre. L'absorbeur de CO_2 peut être associé ou non au brûleur d'oxygène.

Caractéristiques du DÉOXO (données constructeur) :

- Dimensions : 100 x 68 x 1,60
- Poids : 400 kg
- Puissance électrique : 7,3 kW
- Consommation d'eau : 2 m^3/h
- Débit d'air
- Capacité de réduction : 2,6 m^3 O_2/h
- Consommation de propane : 1 kg/h

Pour notre exemple, avec 118 m^3 d'oxygène à consommer, 45 heures sont nécessaires pour parvenir au résultat désiré, en consommant 45 kg de propane et 90 m^3 d'eau. Très répandu, ce type de matériel tombe en désuétude.

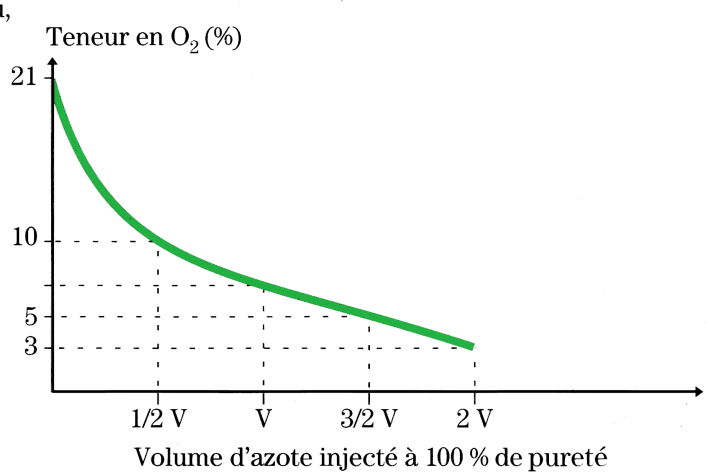
2 La descente rapide en circuit ouvert

Ce système procède d'une chasse de l'air par de l'azote. La quantité d'azote nécessaire dépend de la teneur en oxygène à atteindre. Pour obtenir 3 % de O_2, il faut injecter 2 fois le volume libre de la chambre

(1400 m^3 dans notre exemple). Cette solution est très rapide, quelques heures suffisent (*figure 4.11*).

Figure 4 - 11

Abaissement théorique de la teneur en oxygène d'une chambre de volume V. D'après Rousseau, L'Air Liquide (1966)

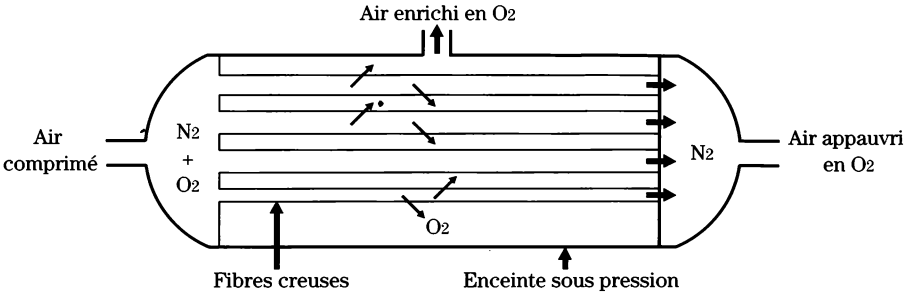


Il faut bien sûr éviter que le débit d'azote ne soit supérieur à celui de l'échappement par la valve d'équilibrage et que la surpression créée ne dépasse pas la valeur 15 mm de C.E. L'azote peut être fourni à partir de bouteilles ou d'azote liquide, après détente.
Une autre solution consiste à utiliser des générateurs d'azote qui fournissent de l'air avec un taux résiduel d'oxygène plus ou moins important. Ceux-ci impliquent l'utilisation de volumes d'air plus importants. Ainsi, avec de l'air à 97 % de N_2, il faut 4 fois le volume libre de la chambre pour atteindre 3 % d'oxygène. Le temps de mise en régime est conditionné par le débit de l'appareil.

Les générateurs d'azote à membranes

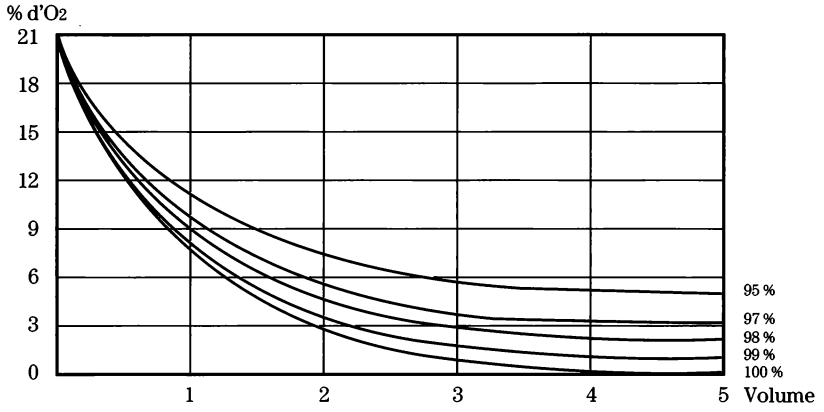
Le principe de ces générateurs consiste à séparer les composants de l'air par diffusion au travers d'une fibre creuse en polymère. Les molécules d'oxygène, plus petites que celles d'azote, diffusent plus rapidement au travers de la membrane et subséquemment, l'air de la membrane est appauvri en oxygène (*figure 4.12*). La faiblesse de leur rendement implique de multiplier le nombre des fibres et d'augmenter la pression, ce qui justifie la présence d'un compresseur qui comprime et réchauffe l'air. L'air produit est sec, exempt de tout résidu de combustion. Il peut être réhumidifié avant retour dans la chambre.

Figure 4 - 12
Schéma d'un générateur d'azote à fibres creuses



Le débit d'air diminue quand sa pureté augmente, ce qui implique de prolonger la durée de la diffusion (Cf. *figure 4.13*).

Figure 4 - 13
Influence de la pureté d'azote sur le volume nécessaire d'après Waelti et Cavalieri, 1990



L'air doit être filtré en amont du compresseur, il faut éviter tout entraînement d'huile qui pourrait colmater les fibres. La principale inconnue est la longévité des fibres dont on sait la baisse d'efficacité avec le temps.
Ce type de matériel est apparu dans les stations fruitières en 1986 en France.
Caractéristiques (données constructeur) SWAN 30 :
- Dimensions : 240 x 75 x 135 cm
- Poids : 410 kg

- Puissance électrique : 11 kW
- Débit du compresseur : 70 m³/h
- Débit d'air à 3 % d'O_2 = 20 m³/h (30 m³/h à 5 % et 11 m³/h à 99 %)

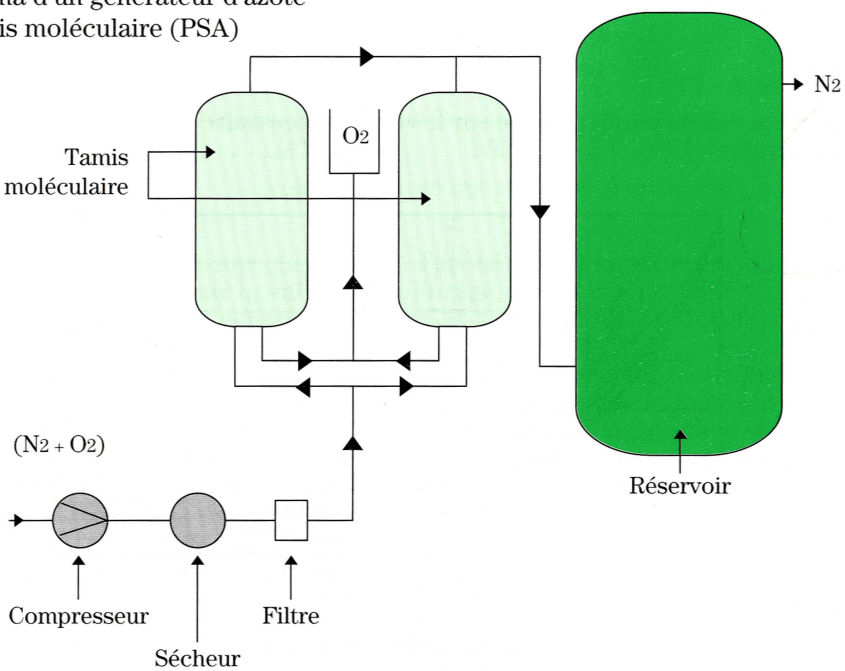
Le générateur va fonctionner 80 h en produisant un mélange à 3 % d'O_2 et 97 % d'azote.

Générateurs d'azote à tamis moléculaires (P.S.A.)

De l'air comprimé et sec est envoyé sur un tamis moléculaire, à base de carbone, ce tamis adsorbe l'oxygène, l'azote n'est pas fixé aussi rapidement. La saturation intervient en quelques minutes, la désorption se fait par dépressurisation, d'où le nom de P.S.A. (Pressure Swing Adsorption), c'est-à-dire adsorption modulée en pression. Pour travailler en continu, un second tamis moléculaire est mis en service lorsque le premier est saturé. L'air utilisé doit être sec et propre, exempt d'huile et d'eau. Un réservoir complète l'installation. Le système à tamis moléculaire est apparu dans les stations fruitières en 1990 (*figure 4.14*).

Figure 4 - 14

Schéma d'un générateur d'azote à tamis moléculaire (PSA)



Caractéristiques d'un appareil (données constructeur) :

- Dimensions : 130 x 200 x 230 cm
- Poids : 1 000 kg
- Puissance électrique : 11 kW
- Compresseur à vis, de 15 CV débitant 90 m³/h à 10 bars
- Débit d'air : 35 m³/h à 3 % d'oxygène

C'est le modèle d'appareil qui convient à notre exemple. Il va fonctionner 46 h pour produire la quantité de mélange prévue.

Les brûleurs d'oxygène à propane

Le principe de la combustion reste le même que pour le circuit fermé mais on utilise de l'air extérieur, qui après combustion de l'oxygène est utilisé pour chasser l'air de la chambre qui n'est pas recyclé. Il faut donc épurer le CO_2 produit.
Les difficultés des résidus de combustion restent les mêmes.

Caractéristiques d'un appareil ISO 28.29 (données constructeur) :

- Dimensions : 145 x 80 x 150 cm
- Poids : 460 kg
- Puissance électrique : 1,5 kW
- Consommation d'eau : 2 000 l/h
- Consommation de propane : 5 kg/h
- Débit : 70 m^3/h

Pour notre cas, il faut 17 heures de fonctionnement et 84 kg de propane.

Régulation de l'atmosphère

ELIMINATION DU CO_2 ? CHARBON ACTIF !

La technique la plus utilisée pour l'épuration du CO_2 est celle des adsorbeurs à charbons actifs. Le CO_2 est adsorbé à leur surface et ils sont régénérés par balayage avec de l'air extérieur. Les principales variantes portent sur la façon de limiter l'apport d'air résiduel dans la chambre, et sur l'admission ou non de l'O_2 par le même appareil. L'usage de la chaux hydratée est encore pratiqué en petites chambres et en appoint.

Il importe, en cours d'entreposage, de conserver des valeurs stables d'oxygène et de gaz carbonique, garantes d'un résultat de conservation satisfaisant. Comme pour la température et l'humidité, des conditions trop fluctuantes entraînent une évolution plus rapide des pommes et des poires, source possible d'altération. Il faut donc épurer le dioxyde de carbone dégagé et remplacer l'oxygène consommé par les fruits. Bien des solutions ont été utilisées, quelques-unes perdurent pour différentes raisons.

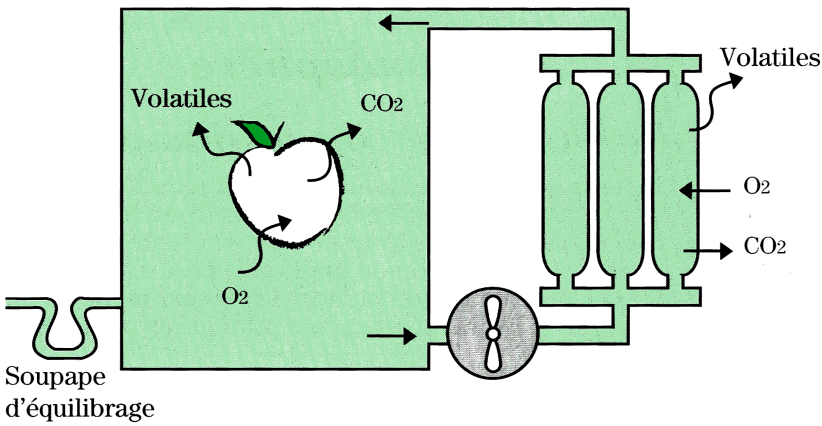
1 Les échangeurs-diffuseurs

Ces appareils ont été utilisés à partir du dépôt de brevet n°1397 27 de février 1964, commun au CNRS, P. Marcellin et J. Leteinturier. Ils font appel aux phénomènes de diffusion des gaz au travers d'une membrane sélective pour réguler automatiquement la teneur en O_2 et en

CO_2. C'est la nature de cette membrane, tissu enduit d'élastomère de silicone (diméthylpolysiloxanes) permet de faire passer 5,5 fois plus de CO_2 que d'O_2. Un ventilateur de petite puissance assure la circulation de l'air chargé en CO_2 au travers des sacs. Le CO_2 diffuse vers l'extérieur tandis qu'un peu d'oxygène va rentrer. On va ainsi réintroduire dans la chambre un air enrichi en O_2 et appauvri en CO_2. Les caractéristiques propres de la membrane et les dimensions de la surface vont permettre de maintenir un mélange à 3 % d'O_2 et 3 à 5 % de CO_2. La surface peut être modulée pour s'adapter aux différences de respiration du produit.
La mise en régime se fait par la respiration naturelle des fruits avec mise en service de l'appareil à 50 % de sa capacité, dès que l'on est à 8 % de CO_2 et 12 % d'O_2. La surface d'échange est ensuite adaptée, pour maintenir une valeur stable de CO_2 (*figure 4.15*).

Figure 4 - 15

Schéma de principe d'un échangeur - diffuseur,
type Marcellin - Leteinturier.



Ce système présente l'avantage de son extrême simplicité, de sa très grande fiabilité, son très faible coût énergétique et un entretien réduit et modique. Faute d'un pouvoir d'évaporation du CO_2 suffisant, il ne permet pas d'utiliser les brûleurs à propane. Par contre, il est compatible avec la mise en régime rapide à l'azote et aux générateurs d'azote. Les limites liées au principe, ne permettent pas de travailler à des basses teneurs, inférieures à 3 % d'O_2 et de CO_2.

Caractéristiques d'un échangeur-diffuseur Type RP25.13 :

- Dimensions : 2,85 x 1,50 x 1,87 m
- Poids : 58 kg
- Puissance électrique : 0,06 kW
- Nombre d'éléments : 19
- Surface : 122 m^2
- Débit d'air : 0,36 m^3/h
- Capacité : 250 t

Ce modèle est adapté à notre exemple de chambre. Cette technologie est cependant en voie de disparition.

2 Les épurateurs de dioxyde de carbone (CO_2)

Destinés à maintenir un taux de CO_2 toujours enclin à monter, les épurateurs servent à éliminer l'excédent. La technique utilisée peut être réversible ou non, en utilisant des principes différents depuis le laveur d'air à eau (le terme générique anglo-saxon est celui de scrubber (laveur)), la chaux hydratée, la soude, la potasse, la diéthanolamine, le carbonate de potassium, les zéolithes, les charbons actifs.

La chaux hydratée

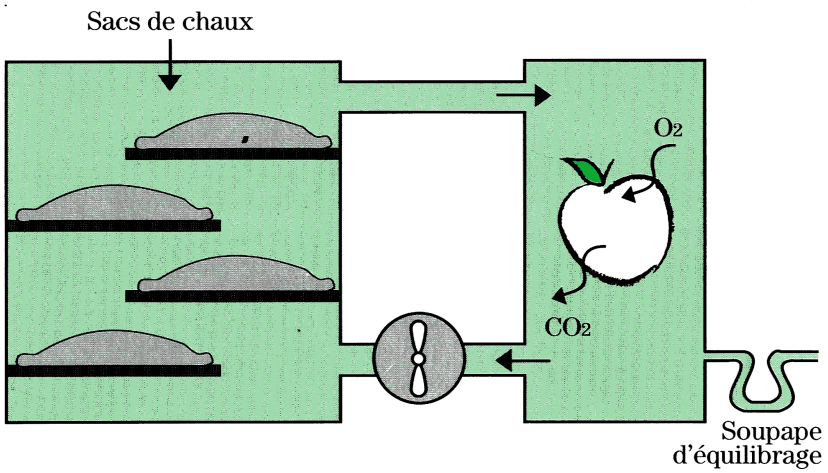
Un des plus ancien, ce procédé était déjà utilisé par l'homme dès la fin du XIX^{e} siècle pour piéger le CO_2 dégagé par la respiration dans les sous-marins, où il est toujours utilisé en l'absence de source d'énergie abondante fournie par la propulsion nucléaire. Le grand inconvénient du phénomène est d'être irréversible. Il faut donc, soit apporter la quantité nécessaire à toute la durée de la conservation, soit renouveler les apports. Le CO_2 forme avec la chaux, un carbonate stable.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow Ca\,CO_3 + H_2O$$

Il faut théoriquement 74 g (poids moléculaire) de chaux pour absorber 44 g de CO_2. Le rapport pondéral est de 44 x 100/74 = 60 % et doit être dans la pratique divisé par deux.

Figure 4 - 16

Schéma d'un laveur d'air à chaux hydratée



La capacité d'absorption dépend principalement de la qualité du contact avec l'air, de la composition de la chaux, de sa granulométrie

et de la porosité de son emballage (65 à 70 % de CaO, finesse de mouture 80 % au tamis de 0,8 mm). En conséquence, les quantités préconisées sont assez variables de 13 à 25 kg par tonne de Golden Delicious pour 6 mois de conservation. Cette technique demeure très utilisée dans les petites chambres, en particulier dans les pays du Nord de l'Europe, Belgique, Hollande, etc. Elle peut constituer un appoint quand la capacité de L'absorbeur de CO_2 est insuffisante. La chaux peut être disposée en sacs directement dans la chambre ou dans un petit local étanche annexe, avec une circulation d'air (*figure 4.16*).

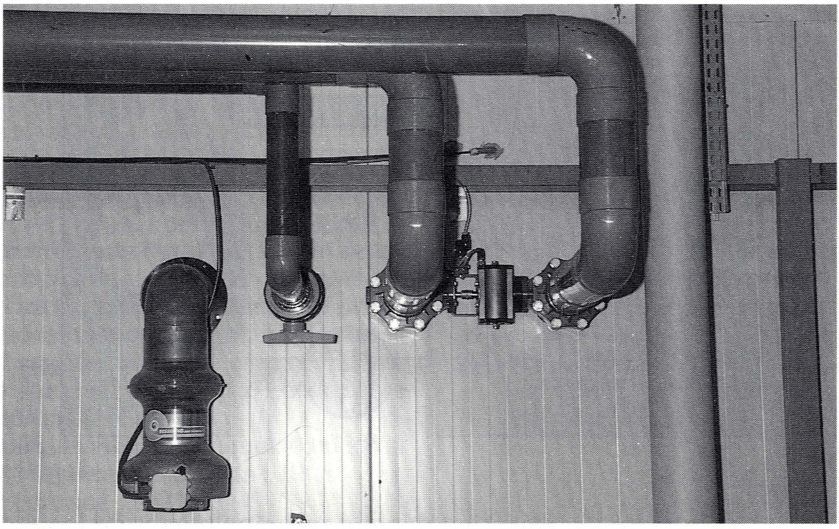
Dans notre exemple, il faudrait 3,25 à 6,25 t de chaux hydratée pour la chambre de 250 t de capacité.

Les absorbeurs à charbons actifs

QUELLE CAPACITÉ ?

Pour des pommes à 0,5 °C :
- 600 t à 1 % = 160 kg de charbon, 240 m³/h
- 600 t à 3 % ou 300 t à 1 % = 80 kg de charbon, 150 m³/h

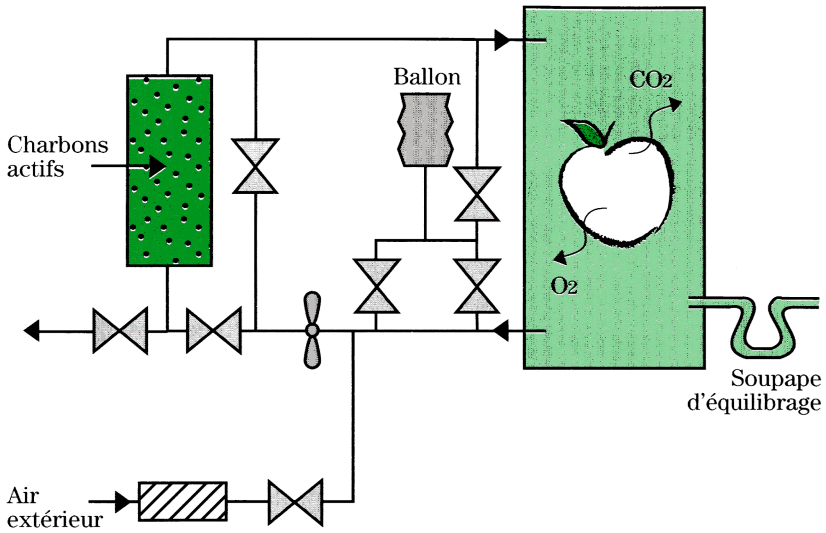
Le principe des absorbeurs à charbons actifs est purement physique. Les molécules de CO_2 sont absorbées à leur surface. Les charbons sont fractionnés en fines particules afin d'accroître la surface d'échange. L'air de la chambre est propulsé au travers de l'absorbeur. Les charbons sont régénérés avec de l'air extérieur qui va désorber les molécules fixées. Cette procédure présente l'inconvénient d'introduire de l'air à haute teneur en O_2 dans l'appareil. Cet air pénétrera dans la chambre lors de la remise en route de la phase d'absorption. Des dispositifs à vide partiel et/ou à ballon de compensation (*figure 4.17*) ont été mis au point pour pallier à cet inconvénient avec les très basses teneurs en O_2 et CO_2.



Ventilateur d'admission d'air, électrovannes sur circuit CO_2

Figure 4 - 17

Schéma d'un absorbeur à charbons actifs
pour les très basses teneurs
avec ballon intermédiaire



L'usage des absorbeurs à charbons actifs est devenu quasi-général pour gérer la teneur en CO_2. Les progrès portent sur le fonctionnement des vannes électriques ou pneumatiques et la gestion de leurs commandes par automates programmables qui remplacent les minuteries traditionnelles. La nature des charbons actifs peut encore évoluer.
Ceux-ci absorbent également des produits volatils tel l'éthylène, mais à des niveaux peu importants. La tendance à utiliser les très basses teneurs pratiquement exemptes de CO_2, amène à augmenter leur capacité d'absorption.
Sur certains appareils, l'admission d'O_2 s'effectue au niveau de l'absorbeur, sur d'autres, la fonction est assurée indépendamment par un ventilateur d'admission à commande automatique asservie à une analyse des gaz.

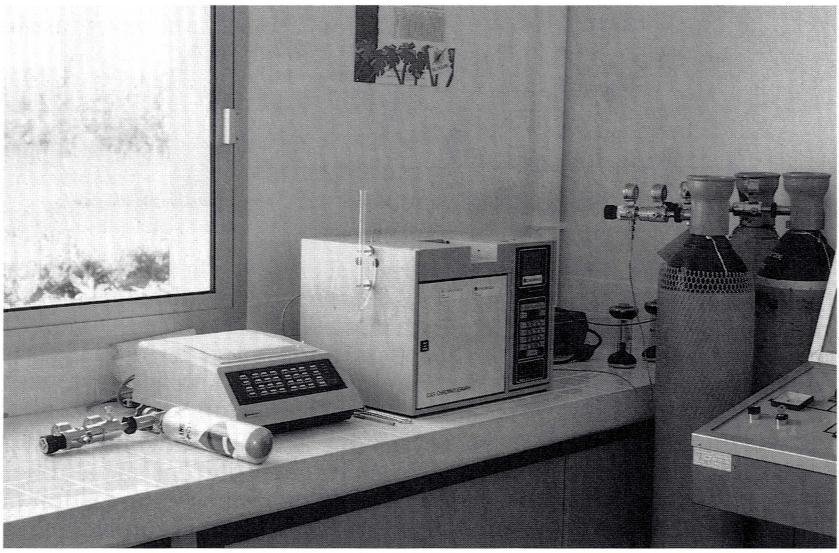
Caractéristiques (données constructeur) :
- Dimensions : 60 x 60 x 190
- Poids : 190
- Puissance électrique : 0,37 kW
- Débit d'air
- Capacité pour 700 t de fruits
- Air comprimé à 5 bars

L'appareil indiqué ci-dessus permet le travail en centralisé sur les trois chambres du projet.

L'éthylène

ELIMINER L'ÉTHYLENE SEMBLE PEU INTÉRESSANT !

Dans l'état actuel de nos connaissances sur pommes et poires, l'utilisation d'appareils en fonctionnement permanent pour éliminer l'éthylène des chambres d'A.C. ne se justifie guère. Les très basses valeurs d'O_2 sont nettement plus efficaces.



Chromatographie en phase gazeuse pour la mesure d'éthylène

Gaz inodore, l'éthylène intervient dans le développement de la maturation des fruits. Il fait l'objet de nombreuses études, mais son rôle n'est pas entièrement connu. Concernant la pomme et la poire, la maîtrise actuelle de la destruction de l'éthylène au stade industriel ne semble pas suffisante pour que son effet biologique soit assuré. Dans l'immédiat, les très basses teneurs en oxygène s'avèrent plus efficaces que la destruction de l'éthylène pour le contrôle de la maturité du produit et des maladies comme l'échaudure. La destruction de l'éthylène nécessite un appareil en fonctionnement continu par chambre. Il faut également disposer de moyens d'analyse adaptés, en particulier un chromatographe en phase gazeuse, qui requiert un personnel formé. Ces dispositifs ne sont fréquents que pour la conservation des actinidias ("kiwi"), particulièrement sensibles à l'action de l'éthylène. Les résultats sont excellents. Pour la pomme et la poire, ils peuvent être utilisés en atmosphère normale pour épurer l'air de salles contenant un mélange de variétés où ils remplacent l'ancienne technique du renouvellement d'air.

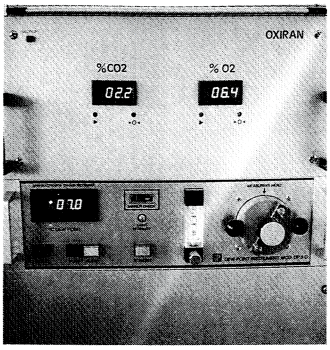
L'évolution vers les très basses teneurs d'O_2

A PARTIR DE QUEL TAUX D'OXYGENE PEUT-ON PARLER D'ULO ?

La pratique des très basses teneurs en O_2, de l'ordre de 1 %, se développe parce qu'elle permet de ralentir encore l'évolution du produit et de diminuer l'effet de certaines maladies comme l'échaudure. Elle est rendue possible par un plus grand soin apporté à l'étanchéité des chambres, au fonctionnement des appareils de traitement d'air, à la qualité des mesures et à la régulation automatique de l'O_2 et du CO_2.

Les très basses teneurs en oxygène sont dénommées ULO (Ultra Low Oxygen) par les Anglo-saxons. Le terme est couramment repris en Français. L'ULO suppose des soins redoublés sur l'étanchéité de la chambre, la prise en compte des phénomènes de diffusion, un regain d'attention porté aux variations de pression, y compris celles résultant de l'absorption de CO_2, un grand soin apporté à ne pas réintroduire l'air de régénération des charbons actifs dans la chambre. Cet ensemble peut conduire à utiliser les générateurs d'azote comme unique appareil de régulation de l'atmosphère, le contrôle du CO_2 se faisant par balayage, et la chambre étant en légère surpression pour limiter les entrées d'air. Cette méthode n'est possible qu'avec une analyse et une commande automatiques du matériel. On atteint en effet les limites de l'asphyxie du fruit. De grandes variations des teneurs des différents gaz ne sont plus tolérables.
Les effets spécifiques des très basses teneurs sur les pommes et les poires seront étudiés dans le tome 2.

SURVEILLANCE DES CLIMATS DE CHAMBRES AC ET ULO



– Nouveau système informatisé de mesure et de régulation d'atmosphère contrôlée avec extension graphique

– Analyseurs d'O_2 et de CO_2

– Capteurs de températures

– Mesure d'humidité par point de rosée

GAZATOM / MPP
16 bis, rue de Paris 91160 CHAMPLAN
Tél. 33/1 64 48 96 60 - Télécopie : 33/1 64 48 44 22

5 MESURES ET CONTROLES

Pendant la durée d'entreposage et sauf cas particulier, les conditions qui règnent dans la chambre doivent être le plus stable possible, ce qui n'exclut pas certaines variations, dans une plage étroite. Cela concerne aussi bien la température, l'humidité, la vitesse et la composition chimique de l'air. La plupart de ces évolutions sont lentes, d'autant plus que l'isolation est importante. Les fruits modifient les conditions par dégagement de chaleur, de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et consommation d'oxygène. Pour que le régime soit stable, il faut donc mesurer, contrôler et réguler les différents paramètres. L'évolution des moyens de mesure que sont les capteurs, l'électronique pour la régulation et l'informatique pour le contrôle et l'exploitation des données ont entraîné des développements importants, utiles et efficaces, avec une connaissance bien meilleure et une optimisation plus facile de l'installation.
Installation frigorifique et traitement de la composition de l'air constituent des fonctions spécifiques qui gagnent à rester indépendantes. Un minimum d'harmonie est cependant nécessaire entre elles.

Le circuit frigorifique

LES ÉLÉMENTS-CLÉS À SURVEILLER !

Outre les organes de sécurité et de régulation commandés par la pression du fluide frigorigène, le contrôle du fonctionnement de l'installation repose surtout sur les températures. On peut y adjoindre avec profit les temps de marche des compresseurs et de l'alimentation des évaporateurs. L'évolution des capteurs : dispositifs de toute nature, et de l'informatique, rendent possible une connaissance beaucoup plus poussée du fonctionnement réel de la machine, à proximité ou à distance. Les progrès sont constants mais ne doivent pas faire oublier qu'une présence humaine, qualifiée, occasionnelle mais fréquente, reste indispensable.

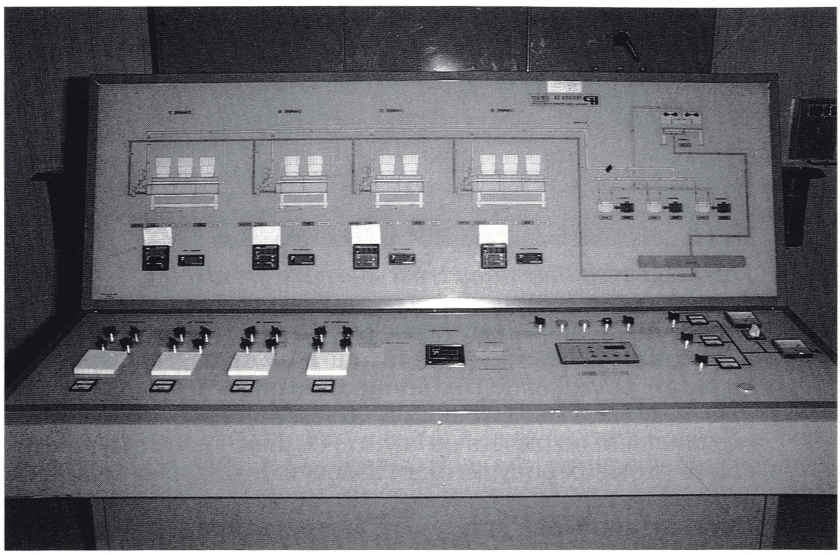
Les principaux points à mesurer sont les suivants : (*tableau 5.I*).

Tableau 5. I
Les capteurs essentiels du circuit frigorifique

N°	CAPTEUR	APPAREIL CONTROLE	SECURITE	REGULATION	ANALYSE
1	Pression	Evaporateur	Alarme BP	• Pression évaporation • Réduction de puissance	Température d'évaporation
2	Température Pression	Compresseur Condenseur	Sécurité Compresseur Alarme HP	Pression de condensation	Température de condensation
3	Température Débit Niveau	Détendeur Bouteille	Fuites	Sous-refroidissement	Enthalpie entrée évaporateur (h_1) Puissance frigorifique m (h_2 - h_1)
5	Température	Evaporateur	Sécurité anticoup de liquide	Surchauffe	– Contrôle d'une bonne surchauffe – Enthalpie sortie évaporateur (h_2) (p_1 + t_2)
6 7	Température entrée médium Température sortie médium	Evaporateur Evaporateur		• Ventilateurs • Réduction de P (médium air) • Réduction de P (médium liquide)	Δt moyen – encrassement – givrage
6	Humidité relative	Chambre		Régulation Humidité relative	
8 9	Température entrée médium Température sortie médium	Condensateur Condensateur		Ventilateurs ou pompes	Δt moyen – encrassement
10	Pression différentielle	Compresseur	Sécurité huile		
11	Puissance absorbée	Compresseur Appareils auxiliaires			COP
12	Niveau	Bouteille	HP (Bouteille HP) HP (Bouteilles BP)		

Le système d'acquisition des données, à partir des capteurs, collecte, stocke, exploite pour réguler et pour dresser les tableaux ou journaux de fonctionnement. Par modem, il peut être relié au réseau téléphonique chez l'installateur, où peut s'exercer une télésurveillance (intervention sur déclenchement d'alarme), un télé contrôle (interrogation

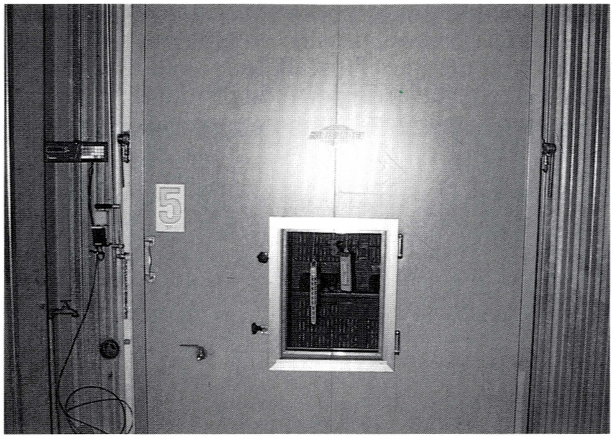
à distance), voire une télégestion (modification des critères de fonctionnement). Cette intégration, de plus en plus poussée, va conduire à un transfert de conduite vers l'installateur avec le risque de partager des responsabilités en cas de perte de produits.
Nous allons examiner quelques capteurs parmi les plus courants, et les plus utiles à connaître .



Pupitre de commande (réfrigération directe au R22)

1 Les sondes de température à principe électrique

Elles appartiennent à trois types principaux :
• **Sondes à résistances** - La valeur de la résistance d'un métal dépend de sa température. La réponse est précise, stable dans le temps, mais le signal obtenu nécessite une amplification importante et une source de courant extérieure. Le métal utilisé est souvent le platine et l'on parle de Pt 100 ohm ou Pt 1000, plus sensibles.
• **Thermistances** - C'est une pastille de semi-conducteurs dont la résistance décroît avec la température, la sensibilité est plus grande mais la réponse n'est pas linéaire et la plage est limitée.
• **Thermocouples** - Ils sont composés de deux fils de nature différente dont les jonctions sont à des températures différentes, l'une de référence, l'autre à mesurer. La différence crée une force électromotrice liée à la température. Ce capteur passif simple et de faible dimension, ne donne pas une réponse linéaire. Une référence est nécessaire.



Porte AC avec thermomètre à mercure (contrôle)

L'usage des sondes ne dispense pas d'avoir recours à un thermomètre à dilatation de mercure, gradué au 1/10e de degré, disposé dans une chambre, et visible de l'extérieur. Bien que placé dans des conditions difficiles, mauvaise circulation de l'air autour du bulbe, influence du rayonnement au travers de la vitre, ce thermomètre demeure un indicateur précieux pour vérifier l'absence de dérive de température des organes de régulation.

Emplacement des sondes de température

L'homogénéité des températures dans la chambre dépend de la régularité de la ventilation, donc du bon chargement de la chambre. Correspondant aux températures de l'air les plus élevées avant refroidissement, la mesure de température doit être réalisée à la reprise d'air de l'évaporateur. C'est là qu'est disposé le bulbe du thermostat électronique, au soufflage de l'évaporateur, air le plus froid, et au centre géométrique du chargement. Ce dernier point est aussi celui utilisé pour le prélèvement gazeux. Comme il entraîne une petite complication de la manutention lors du remplissage et du vidage de la chambre, il est parfois disposé au milieu de la paroi côté reprise de l'évaporateur. Les mesures de sonde à cœur des fruits, placés au centre du chargement montrent une grande stabilité et une valeur correspondant au 1/10e de degré près à celle de la valeur haute de déclenchement du thermostat.

2 Les sondes d'humidité

Bien qu'il y ait une évolution très importante dans ce domaine, la mesure d'humidité reste un point délicat en raison des difficultés de la mesure à des valeurs proches de 0°C et à des valeurs d'humidité relatives supérieures à 90 %. Dans ces conditions, tous les systèmes dérivent rapidement dans le temps et nécessitent un ré-étalonnage périodique du capteur. Pour les sondes à capacitance, les plus répan-

dues, il se fait en les sortant de la chambre et en les plaçant dans un bocal où règne une humidité connue, obtenue par une solution saline saturée. La mesure la plus fiable est celle réalisée par la méthode du point de rosée. L'air prélevé dans la chambre passe sur un miroir refroidi, la condensation qui s'y forme en fonction de la température et de la teneur en eau de l'air, permet de déterminer le point de rosée, l'humidité de l'air est alors connue par le calcul à partir de la température sèche. Le ré-étalonnage est extérieur à la chambre. Son principal inconvénient est son prix élevé. Il est illusoire d'utiliser d'autres systèmes actuellement. Un contrôle permanent n'est pas d'ailleurs nécessaire dans la mesure où l'on ne cherche pas à commander un système d'humidification et que le contrôle de l'humidité est principalement indirect par les caractéristiques et le fonctionnement de l'évaporateur. Une procédure par sondage pendant deux cycles de fonctionnement de l'évaporateur, refait périodiquement, peut suffire.

3 La mesure de la vitesse d'air

Elle est faite avec des anémomètres à hélice ou à fil chaud. La mesure permanente est inutile, mais elle est à faire au moins une fois pour contrôler la répartition des vitesses dues aux erreurs de chargements. Les mesures de pression d'air sont possibles mais beaucoup moins accessibles.

Le contrôle de l'atmosphère contrôlée

MAITRISE DE L'ATMOSPHERE ?
DES PROGRES GRACE À L'INFORMATIQUE.

Pour assurer une bonne stabilité des valeurs d'oxygène et de CO_2, à des taux bas, il est utile de disposer d'analyseurs fiables et précis. Aux très basses valeurs, il est exclu de continuer à travailler avec des analyseurs chimiques et manuels. Le recours à des contrôles de mesures avec commande de l'absorption de CO_2, et de l'admission d'O_2 est indispensable.
La sécurité du système doit être maximale. Le contrôle périodique de son bon fonctionnement est indispensable. L'enregistrement et l'exploitation des données permettent d'améliorer au fil des ans, les conditions de conservation des fruits avec une sécurité optimale.

Dans le cas de l'atmosphère contrôlée, il s'agit également de mesurer pour contrôler, réguler, stocker et exploiter les résultats, dans des conditions de sécurité satisfaisantes (alarmes en cas de panne) avec transmission possible à l'extérieur.

1 Mesure de l'oxygène et du dioxyde de carbone

Les analyseurs chimiques

Il est indispensable de mesurer la teneur en O_2 et en CO_2 de la chambre de conservation. En respirant, des fruits placés dans une enceinte étanche vont consommer l'O_2 et dégager du CO_2. Si l'air n'est pas traité, la baisse puis la disparition d'O_2 vont entraîner la mort des fruits par asphyxie, tandis que l'augmentation du CO_2 va provoquer des désordres physiologiques. Il faut donc savoir où l'on en est pour agir utilement.

Dans les débuts de l'atmosphère contrôlée, des appareils de mesure simples et peu coûteux, satisfaisaient à peu près le besoin de précision et de fiabilité souhaité. Ces analyseurs mettent en jeux une réaction chimique. La mise en solution d'un composant de l'air à analyser, dans une solution de pyrogallol pour l'O_2, d'une solution de potasse pour le CO_2, fait augmenter le volume de celle-ci proportionnellement à la quantité de gaz absorbé. Une échelle appropriée permet de le rapporter à une teneur en gaz exprimée en pour cent.

Il existe deux types d'appareils :

1) Le type d'Orsat, est à l'origine un appareil de laboratoire, fragile et encombrant, ce qui a amené à l'utiliser de préférence en installation centralisée. La pompe d'aspiration de l'échantillon est directement reliée à la chambre de stockage par une canalisation et une vanne manuelle de sélection.
2) Le type Fyrite, plus portable, était destiné à l'origine à la mesure des gaz de combustion pour le réglage des brûleurs. Mobile, il est couramment utilisé à la porte des chambres où sont montés des robinets de prise d'échantillons gazeux. On trouve également des tubes réactifs type Dräger ou Air Liquide.

Encore d'usage très fréquent, ces deux appareils demandent une grande rigueur de manipulation. La procédure d'emploi doit être respectée avec beaucoup de soin car elle influe notablement sur la valeur de la mesure. Ils sont sensibles aux variations de températures et de pression, au vieillissement des solutions et des flexibles qui deviennent poreux. Ils restent peu précis et deviennent inutilisables aux très basses valeurs inférieures à 2 %, de par une imprécision de l'ordre de 1 %. Celle-ci pourrait être fatale pour certaines variétés.

Les analyseurs physiques

Dès le courant des années 1960, des appareils plus coûteux, basés cette fois sur des principes de mesures physiques ont été utilisés dans certaines stations fruitières. Actuellement, l'O_2 est mesuré par paramagnétisme et le CO_2 par infrarouge, à la fois pour des raisons de coût et de fiabilité par rapport à la précision souhaitée. Ce sont des instruments simples d'emploi, ce qui ne veut pas dire qu'il suffit d'appuyer sur un bouton ou de lire un indicateur pour qu'ils fonctionnent correctement.

Comme tout appareil de mesure, ils doivent être étalonnés. Un contrôle du zéro est effectué avec une bouteille d'azote, un autre est

réalisé avec une bouteille d'un mélange connu d'O_2 et de CO_2 proche de la valeur de travail, par exemple 5 % d' O_2 et 5 % de CO_2. (ou bien 6 à 7 % pour encadrer les valeurs habituelles de mesures).
La méthode la plus économique, également très fiable, consiste à utiliser un mélange CO_2/N_2 servant à contrôler le zéro d'O_2 et le point haut de CO_2 (6 à 7 %). Le zéro CO_2 et le point haut O_2 sont réalisés avec de l'air propre et sec.
Il importe également que l'appareillage soit maintenu dans un lieu tempéré, à l'abri de la poussière, de l'humidité, des chocs et des vibrations. Dans les galeries techniques, les machines engendrent de fortes vibrations qui risquent de fausser les valeurs. Tout ceci est source d'erreurs et l'étalonnage régulier est indispensable, au minimum une fois par semaine, éventuellement une fois par jour. Ces contraintes justifient un positionnement centralisé des analyseurs. Ils sont disposés sur des tables stables munies de tapis anti-vibratoires, avec si possible une protection sur l'alimentation électrique, avec parafoudre, limiteur de surtension. Si de l'informatique est associée, celle-ci sera protégée par un onduleur. Les analyseurs sont reliés aux chambres par un réseau de pompes de circulation, filtres, vannes de sélection de chambres, bouteilles d'étalonnage.
Ces appareils requièrent entretien et maintenance, des éléments d'usure doivent être changés périodiquement. Des pannes électroniques sont possibles, pouvant exiger le remplacement de composants. On rentre là de plain-pied dans le cadre normal de l'utilisation du matériel industriel dont ces mesures assurent la longévité et l'efficacité.

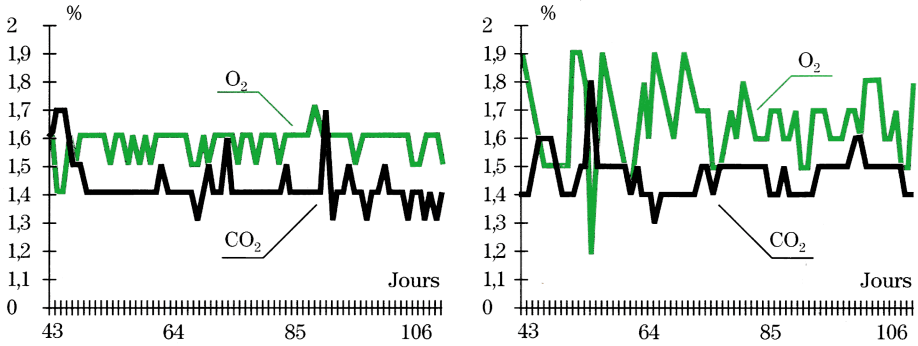
2 Pourquoi automatiser ?

Une bonne stabilité de la composition gazeuse est vite apparue comme garante d'un bon résultat de conservation. Des variations continuelles et de grande amplitude entraînent une évolution accélérée du produit, contraire au but recherché. La *figure 5.1* illustre ce fait.
Comment obtenir cette stabilité ? Utiliser des appareils de mesure qui détectent de faibles variations, employer des machines de traitement d'air qui permettent des corrections adaptées, faire de fréquentes analyses pour n'avoir à réaliser que de petites interventions. A ce stade, la simple mesure journalière n'apparaît plus suffisante. Cependant, la mesure en continu n'apparaît pas non plus indispensable, d'une part parce que les phénomènes évoluent lentement, qu'il n'est pas envisageable d'immobiliser un appareil par chambre, d'autre part parce que les appareils de traitement ont un temps de fonctionnement assez long pour le CO_2 puisqu'une phase de régénération suit la phase d'absorption. Une fréquence de 4 ou 6 h paraît être une solution très acceptable d'autant qu'il faut la raisonner en fonction du temps d'analyse et du nombre de chambres à analyser. Dans ces conditions, il ne paraît plus possible de réaliser les analyses manuellement, en raison des contraintes de permanence sur une installation qui tourne 24 h sur 24, 7 jours sur 7. A partir du moment où l'on répète les analyses à une telle fréquence, il devient judicieux de les utiliser immédiatement et

de faire en sorte qu'elles puissent commander un appareil de traitement d'air. L'appel à la logique informatique et son matériel associé, devient obligatoire. Il faut mesurer, comparer et commander. Il n'y a là rien de nouveau sous le soleil. Avec les moyens de l'époque, qui étaient plus électromécaniques qu'électroniques, une installation de douze chambres, fonctionnant aux Etats-Unis en 1966 a été décrite dans une revue arboricole française en 1967. L'enregistrement et la conservation des données se faisaient sur enregistreur papier. Les solutions informatiques actuelles sont bien sûr beaucoup plus souples. Différentes conceptions sont possibles, mais les grandes fonctions restent les mêmes. A titre d'exemple, figure dans l'encadré celles en usage à la Station de La Morinière.

Figure 5-1

Comparaison de la stabilité des atmosphères
Systèmes d'analyse automatique et manuel



Régulation automatique par la valeur de mesure

Régulation manuelle pour l'O_2, automatique pour le CO_2

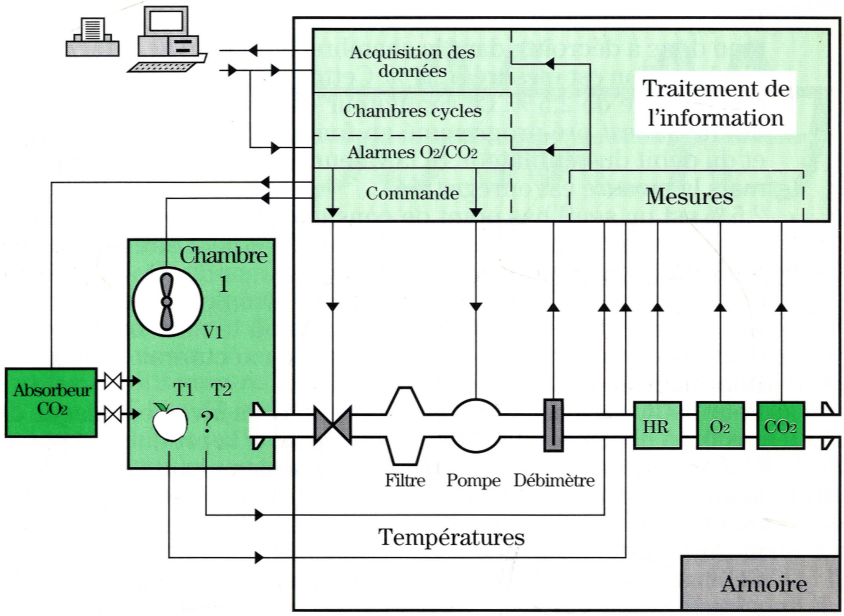
FONCTIONS D'UN SYSTEME DE SURVEILLANCE D'ATMOSPHERE

- Automatisme de prélèvement d'échantillons d'atmosphère pour analyse : taux d'O_2 - taux de CO_2 - mesure du point de rosée
- Acquisition de ces mesures et traitement par point de consigne pré-programmé sauf pour le point de rosée
- Acquisition de la mesure de température d'air et de celle d'un fruit dans chaque chambre
- Visualisation des données, sur écran et imprimante, stockage sur disque dur pour exploitation avec un logiciel graphique
- Automatisation des séquences de traitement de l'atmosphère des chambres en défaut pour renouvellement (O_2) et/ou épuration de l'air (CO_2)

- Acquisition et prise en compte de tous les paramètres modifiés par l'opérateur, type de cycles, durées, valeurs de seuils, temporisations, etc. ainsi que les tests, contrôles et réglages de l'installation
- Retransmission possible par téléphone, à une personne d'astreinte à domicile, d'une alarme ou d'un défaut majeur nécessitant une intervention.

Figure 5 - 2

Schéma de principe du système



Parcours d'un échantillon gazeux

L'échantillon est d'abord aspiré au centre géométrique de la chambre, au milieu des pallox entreposés. Un premier filtre peut y être disposé pour limiter l'aspiration des poussières et des petits débris. L'échantillon circule ensuite dans un tuyau plastique souple. Ce tuyau sera en Téflon ou en métal dans le cas où il servirait aussi à la mesure du point de rosée. Ce sont les seuls matériaux inertes vis à vis de la vapeur d'eau. Le tuyau peut être isolé ou pourvu de points bas de purge, afin d'éviter les condensations internes pouvant aller jusqu'à la formation de glace et bouchage en cas de fortes températures négatives extérieures. Arrivé au niveau de la centrale de mesure, l'échantillon passe par un filtre où l'on retrouve quelques poussières, puis

par l'électrovanne de sélection de la chambre considérée. C'est à ce niveau que des particules peuvent se coincer sous la membrane souple du clapet et compromettre l'étanchéité du circuit en affectant la valeur de mesure. Il circule ensuite au travers de la pompe, du débitmètre, de l'hygromètre à point de rosée, de l'analyseur d'O_2, puis celui de CO_2, avant d'être rejeté à l'atmosphère. Le retour de l'échantillon à la chambre ne s'impose pas, compte tenu de la faiblesse du volume prélevé quand la fréquence de mesure reste faible. L'ensemble des opérations ne dure que quelques minutes.
Des sécurités existent. Un test d'étanchéité du circuit est réalisé en préalable à tout cycle de mesure. Le débit de gaz est contrôlé ainsi que les analyseurs. En cas de défauts, ceux-ci sont visualisés à l'écran et imprimés. Le système est alors arrêté et ne peut redémarrer que sur intervention.

Le principe de la régulation

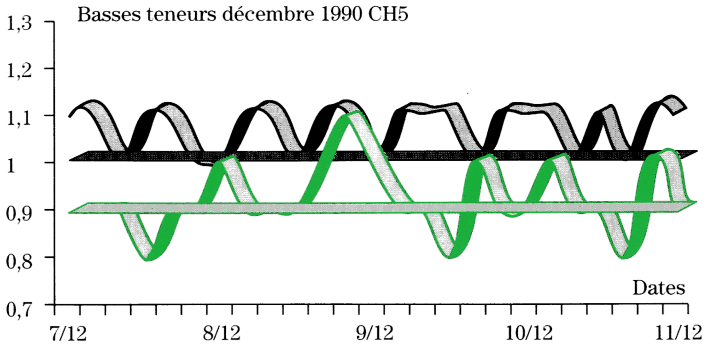
L'oxygène est normalement consommé par le fruit, sa concentration tend donc à décroître dans la chambre. Il est géré de la façon suivante. L'échantillon est mesuré à 2,4 %. Cette valeur est comparée à la valeur de consigne de 2,5 %. Le ventilateur est mis en route pour un temps donné qui est pré-programmé en fonction du volume de la chambre et du débit du ventilateur. Si la valeur est de 2,6 %, il ne se passe rien, mais la mesure est enregistrée.
2,5 % est un seuil bas point de consigne préalable au déclenchement du traitement d'air. De la même façon 2,7 % peut être un seuil haut qui ne fournit qu'une information sans commande. On peut également envisager un seuil bas de sécurité, par exemple 2,2 % qui provoquerait une intervention humaine dans le cas où le moteur du ventilateur d'admission d'air serait grillé et donc n'exécuterait plus les corrections nécessaires.
Pour le CO_2, le traitement s'effectue en sens inverse, puisque dans ce cas il y a dépassement d'un seuil haut avec la production par le fruit. Une valeur de 2,6% comparée à une consigne haute de 2,5% entraîne la mise en route de l'absorbeur de CO_2 dont le temps de fonctionnement est réglé au niveau de l'appareil et non pas de la centrale de mesure. Cette approche se justifie dans la mesure où l'absorption de CO_2 par charbons actifs comporte dans son cycle, une phase de régénération spécifique de l'appareil et de son état. Comme il n'y a ici qu'un absorbeur pour plusieurs chambres, les ordres de traitement sont pris chronologiquement. On peut imaginer un logiciel qui prenne en compte depuis la valeur de dépassement la plus grande de la consigne, à la plus faible, ce qui reste cependant d'un intérêt limité. Dans le cas d'un absorbeur par chambre, le temps de fonctionnement de ce dernier est programmé directement sur la centrale.

Stabilité obtenue en automatique

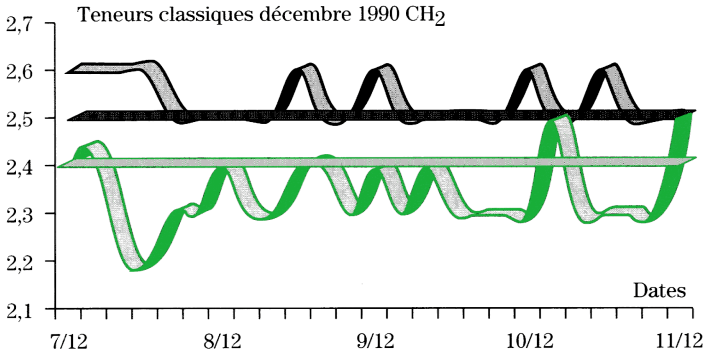
La stabilité dépend toujours des réglages effectués en particulier des temps de fonctionnement prévus et de l'adaptation de la capacité des appareils par rapport aux besoins. Cela paraît une évidence, mais il est judicieux de se rappeler qu'une action trop puissante entraîne une oscillation des valeurs qui se traduit finalement par un véritable "pompage", avec répercussion défavorable sur le produit.

Figure 5 - 3

Utilisation d'une centrale de mesures. La Morinière



Fréquence de mesures : toutes les quatre heures



valeurs d'O_2

seuil de régulation d'O_2

valeurs de CO_2

seuil de régulation de CO_2

La *figure 5.3* montre l'évolution obtenue en teneurs classiques, c'est à dire à 2,5 % d' O_2 et 2,4 % de CO_2 et en très basses teneurs, respectivement à 1 % et 0,9 %. Les oscillations sont faibles, de l'ordre de 0,1 % par rapport à la consigne, au maximum de 0,2 %. La situation est un peu plus régulière pour l'O_2 qui se contente de l'injection d'un volume d'air fixé que pour le CO_2. Celui-ci requiert le passage dans une machine et une absorption physique pas toujours très homogène. La mesure de CO_2 est d'ailleurs un peu plus fluctuante que celle d' O_2. Il apparaît également que l'on atteigne les limites pour le traitement du CO_2 en très basses teneurs puisqu'il y a plus de dépassements de la valeur de consigne qu'en teneur classique.

On peut cependant obtenir d'assez bons résultats en mode semi-automatique comme cela apparaît sur la *figure 5.1*. La régulation automatique, c'est à dire par horloge pour le CO_2, aboutit à une bonne stabilité : c'est l'adéquation besoin-capacité de traitement. Pour l'O_2, cela ne peut pas être aussi bon puisque l'admission d'air se fait par la plus ou moins grande ouverture d'une vanne à travers une porte qui donne sur l'extérieur. Avec une fréquence de mesure d'une analyse par 24 heures, pour la même ouverture, le débit qui y passe peut être très variable, s'il y a modification de la pression atmosphérique, de la température et de la vitesse du vent. L'expérience de l'opérateur permet dans ces conditions d'intégrer ces informations et de les gérer puisque les variations vont de 1,5 à 1,9 % d' O_2.

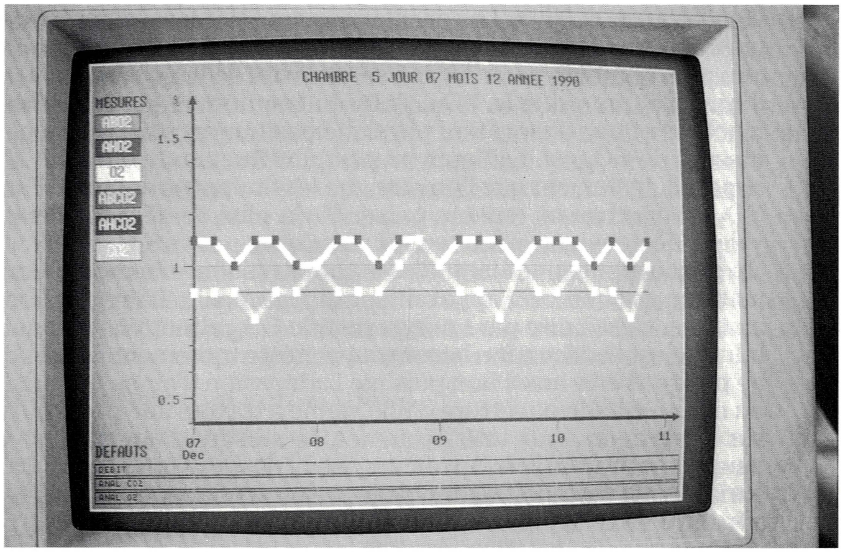
Mais il vaut mieux que l'opérateur souvent unique ne s'absente pas, car le tableau change très vite et il faut plusieurs jours pour rétablir une situation dégradée.
L'automatisme est bien la solution du moindre risque et de la plus grande efficacité.

Un système évolutif

Dès sa conception, tout système de centrale de mesures doit être souple et évolutif. D'abord parce qu'au départ, chaque station fruitière a ses particularités. Par exemple, certaines ne sont équipées que d'absorbeurs de CO_2 individuels, d'autres n'ont que des appareils centralisés. De plus, les stations ont été souvent construites par phases successives, avec différents matériels et leur hétérogénéité pourra encore augmenter avec les extensions futures et les renouvellements. Enfin, pour satisfaire à des contraintes financières, l'équipement de la centrale elle-même peut être progressif.

L'exploitation des données

Le logiciel graphique disponible permet de visualiser les données par des courbes, pour des durées de 5 à 99 jours, avec une échelle variable, avec ou sans point de mesure, avec mention ou non des seuils de consigne et d'alarme et inscription des défauts. Une palette de 15 couleurs est disponible pour mieux distinguer les différents éléments. Les courbes existent pour l' O_2 et le CO_2, l'humidité et les températures, séparément ou ensemble. Elles sont fournies chambre par chambre et l'on peut également accéder au tableau des valeurs chiffrées qui les regroupent. La superposition des courbes de plusieurs chambres est inexploitable.



Courbes d'évolution de l'O_2 et du CO_2 en V.L.O.

Pour bien comparer les chambres, il faut donc éditer les courbes correspondant à chacune d'entre elles puisqu'une seule est visible à l'écran. Cependant, le transfert sur un autre ordinateur, équipé d'un autre type de logiciel est possible pour effectuer des graphiques multiples qui gagnent toujours à être dissociés chambre par chambre pour rester facilement lisibles.
Le stockage des données et leur accès est très rapide, ce qui est très appréciable pour l'expérimentation. En cas d'incident, il est facile de retrouver à quel moment il s'est produit et de bien en visualiser les conséquences sur les paramètres de fonctionnement des chambres. Cela permet une vision juste et rapide des conditions de stockage. Rappelons pour mémoire, l'intérêt des enregistrements pour expliquer les accidents de stockage et les cas de litiges.
Le logiciel graphique constitue un outil idéal pour suivre le fonctionnement et l'efficacité des appareils de traitement d'air. Il permet en particulier, de visualiser immédiatement la stabilité des mesures, mais il importe de bien choisir les échelles et de se méfier des effets d'écrasement quand celles-ci sont trop grandes.

6 EXEMPLE DE DEVIS D'INSTALLATION FRIGORIFIQUE

Dans un projet d'entreposage, la part de l'installation frigorifique est financièrement assez importante, de l'ordre de 25 à 30% en fonction du dimensionnement global du projet et des choix techniques. En valeur 92, il se situe dans une fourchette de l'ordre de 0,70 à 1,10 F par kg de pomme logé.
L'électricité consommée par la machinerie frigorifique représente une bonne part du coût de fonctionnement. Ces deux points méritent une petite étude, au travers d'un devis de l'installation frigorifique et d'une comparaison entre installations.

Devis pour trois chambres de 240 tonnes

UN BON DEVIS, C'EST IMPORTANT.

Le devis est une pièce essentielle pour la réalisation d'un projet. C'est le document à partir duquel sera fait le choix de l'installation. Nous proposons l'exemple d'un devis, sobre, clair, précis et détaillé, où sont rappelés les éléments de base de calcul du projet, le descriptif de l'installation proposé avec détails de ces différents éléments, les variantes, les exclusions.

1 L'objet de l'offre

Il s'agit de l'étude, la fourniture, le transport et la mise en service de l'installation frigorifique d'un ensemble de trois chambres froides pour la réfrigération et le stockage de pommes.

2 Les données du projet

Les chambres sont disposées en un seul bloc (ce qui facilite la réalisation et les extensions futures), avec pour caractéristiques : Dimensions 16,75 x 8,75 x 7,50. Surface au sol 147 m^2, volume 1100 m^3, tonnage 240 tonnes.
La quantité stockée est de 720 tonnes avec une température d'introduction de 25°C, de conservation de 1°C, un tonnage journalier à refroidir de 120 tonnes sur 3 chambres et 50 sur 1 chambre. La machinerie est prévue pour tourner 20 h/24 en période de refroidissement.

3 Le bilan et le principe de l'installation

La puissance nécessaire s'élève à 196 720 watts avec 201 840 watts fournis par la centrale. L'évaporateur dispose d'une puissance de 81200 watts, ce qui aboutit à un ratio par chambre de 64 fg/h/m^3. Le ratio de puissance de la centrale par rapport au volume global est de 53 fg/h/m^3. Ces valeurs sont relativement élevées parce que le rythme de chargement est ambitieux. 5 jours par chambre et 6 pour la station. Un rythme moins élevé aboutit à des ratio de l'ordre de 30 à 40. Les entrées journalières représentent donc une donnée essentielle.
Notre choix s'est porté sur une installation de type centralisé, en détente directe au R22, condensation par air et dégivrage à l'air.
Elle sera équipée de tous les organes de contrôle, régulation et sécurité nécessaires pour un fonctionnement entièrement automatique.
Les groupes sont logés en salle des machines, le condenseur à l'extérieur, mais en aucun cas, à un niveau inférieur aux groupes.

4 Descriptif de l'installation

■ Centrale frigorifique

Puissance frigorifique	201 840 watts
Puissance électrique absorbée en régime	60 kW
Puissance moteur installée	90 kW (3 x 40 CV)
Température d'aspiration	– 5°C
Température de condensation	+ 40°C

Composition de la centrale :

- 3 compresseurs ouverts à pistons Comef type 6CC68 accouplés à 3 moteurs électriques de 40 CV (1450 tr/mn).
- 1 réservoir HP de 220 l avec soupape de sécurité, robinetterie et timbre du service des mines.
- 1 station de déshydratation du Fréon avec filtre déshydrateur à car-

touches, voyant hygroscopique, vanne à main d'isolement et de charge.
- 1 séparateur d'huile à flotteur sur le refoulement avec vanne et clapet de retenue sur la sortie des gaz chauds.
- 1 système de réintégration automatique de l'huile dans les carters des compresseurs comprenant :
  - 1 réservoir d'huile avec voyant et clapet taré de dégazage dans l'aspiration
  - 1 contrôleur de niveau d'huile à flotteur avec vanne sur chaque compresseur.
- Organes de sécurité et de contrôle :
  - manomètres HP et BP
  - pressostats différentiels d'huile de sécurité
  - pressostats combinés HP BP de sécurité
  - pressostats BP pour arrêt "pump down"
  - pressostats HP pour régulation des condenseurs
  - vannes de prise de pression HP BP
  - flexibles de raccordement.
- Collecteurs d'aspiration, refoulement et liquide.
- Câblage électrique sur centrale.
- Châssis général en UPN reposant au sol par l'intermédiaire de supports élastiques anti-vibratiles.

La centrale disposera de 3 paliers de puissance commandés par un pressostat avec prise de pression placée sur la conduite d'aspiration des chambres froides.
Un ensemble électronique de régulation de pression d'aspiration permettra d'inverser l'ordre de démarrage des compresseurs en fonction du nombre d'heures de marche de chacun.
La tuyauterie sera réalisée en tube cuivre qualité frigorifique et raccords divers brasés au chalumeau à l'aide d'une brasure contenant de l'argent.
Elle sera isolée avec de L'Armaflex qualité M1.
Des siphons seront confectionnés à chaque remontée de la ligne d'aspiration.

Condenseur à air

Le condenseur à air prévu est dimensionné pour un DT maxi de 12°C aux conditions nominales, la régulation de pression de condensation sera réalisée par des pressostats HP agissant sur les ventilateurs.

Type C3AH6MD3 marque PROFROID

- Puissance nominale ..... 344 775 watts sous DT 15 °C
- Puissance effective ..... 275 820 watts sous DT 12 °C
- Surface d'échange ..... 742 m^2
- Ecartement d'ailettes ..... 2,2 mm
- Débit d'air ..... 99 000 m^3/h
- Ventilateurs :
  - type ..... hélicoïde
  - nombre 6
  - diamètre d'hélice ..... 762 mm
  - puissance absorbée ..... 1,1 kW unitaire
  - vitesse de rotation ..... 1000 tr/mn
  - protection moteur ..... IP 55

- Batterie ..... tube cuivre, ailettes alu
- Carrosserie ..... tôle galvanisée
- Grilles ventilateurs ..... fil d'acier revêtu de polyéthylène
- Dimensions et poids :
  - longueur ..... 4 263 mm
  - largeur ..... 2 170 mm
  - hauteur ..... 1 505 mm
  - poids ..... 1 000 kg

Equipement des chambres froides

Chaque chambre sera pourvue d'un évaporateur suspendu disposé au dessus de la porte et équipé :
- d'une batterie avec écartement d'ailettes 7 mm,
- de ventilateurs à deux vitesses de rotation pour réduire le taux de brassage en période de stockage (régulation de la vitesse par auto-transformateur),
- d'une électrovanne d'admission de Fréon®,
- d'un détendeur thermostatique.

Caractéristiques d'un évaporateur

Type CR61 marque PROFROID
- Puissance frigorifique ..... 81 200 watts à - 5°C – DT 8 °C
  ..... 59 740 watts à - 5°C – DT 6 °C
- Ecartement d'ailettes ..... 7 mm
- Surface d'échange ..... 542 m^2 soit 0,50 m^2/m^3
- Ventilateurs :
  - type ..... hélicoïde
  - nombre 6
  - puissance électrique abs ..... 650 W unitaire
  - diamètre d'hélice ..... 650 mm
  - débits ..... 52800 m^3/h en GV soit CB = 52
    ..... 26400 m^3/h en PV soit CB = 24
  - vitesses de rotation ..... 1000 tr/min.– 500 tr/mn.
    ..... (autotransformateur)
  - projection d'air ..... 25 m
  - protection moteur ..... IP 55
- Batterie ..... tube cuivre, ailettes aluminium
- Carrosserie ..... tôle prélaquée blanche
- Grille ventilateurs ..... fil d'acier revêtu de polyéthylène
- Dimensions et poids :
  - longueur ..... 4 770 m
  - profondeur ..... 1 115 mm
  - hauteur ..... 1 250 mm
  - poids maxi. ..... 1 300 kg

Contrôle et régulation des chambres froides

La régulation de la température de chaque chambre sera assurée par un thermostat électronique à affichage numérique.
Ce thermostat commandera, lorsque la température de la chambre devient égale au point de consigne, la fermeture de l'électrovanne. Le mode de fonctionnement du dégivrage à air sera sélectionné par une pendule de dégivrage et un interrupteur pour la commande forcée.

Le régime de ventilation sera également sélectionnable par 3 commutateurs :
- premier commutateur : petite ou grande vitesse,
- second commutateur : ventilation automatique ou continu,
- troisième commutateur : ventilation normale ou réduite.

Il sera également prévu pour chaque chambre, un interrupteur marche-arrêt réfrigération.
Un télé thermomètre à cadran de contrôle sera placé à l'extérieur des chambres au droit des portes d'accès.

Armoire électrique générale

L'ensemble des appareillages d'alimentation en force motrice et de protection des différents moteurs de l'installation sera regroupé dans une armoire générale placée dans la salle des machines.
Elle comprendra essentiellement :
- 1 interrupteur général de sécurité à commande extérieure
- les coupe-circuits sectionneurs à cartouches HPC, contacteurs, relais thermiques ou disjoncteurs pour commande et protection des moteurs
- les relais auxiliaires
- 1 horloge programmable par chambre pour commander les cycles de dégivrage par air de l'évaporateur
- les voyants de signalisation :
  - par compresseur ..... défaut
  - par chambre ..... défaut ventilateurs
    ..... dégivrage
  - condenseur ..... défaut
- les commutateurs rotatifs de commande :
  - par compresseur ..... marche/arrêt
  - par chambre ..... marche/arrêt
  - ventilation ..... petite/grande vitesse, réduite/normale,
    ..... automatique/continue
  - dégivrage ..... automatique et forcé
- les régulateurs et indicateurs de température suivants :
  - 4 thermostats de régulation de température de chambre
  - 3 compteurs d'heures de marche pour compresseurs
  - 4 compteurs d'heures de marche pour chambres
  - 1 régulateur des temps de fonctionnement des compresseurs
- 1 bornier général de raccordement repéré en partie basse
- matériel monté sur châssis
- câblage en fil souple sous goulottes PVC.

Fournitures complémentaires

Les tuyauteries frigorifiques de raccordement entre compresseurs, condenseurs et évaporateurs, réalisées en tube cuivre qualité frigorifique.
L'isolation des tuyauteries frigorifiques réalisée en Armaflex qualité M1 d'épaisseur 13 ou 9 mm suivant le diamètre.
Les tuyauteries d'évacuation des eaux de dégivrage depuis les bacs des frigorifères jusqu'au sol, réalisées en tube PVC.
Les câbles électriques U 1000 RO2V, pour le raccordement sur l'armoire générale des différents moteurs et appareillages auxiliaires de l'installation.

Les accessoires de montage, tels que chemins de câbles, raccords, supports de tuyauteries, colliers, visserie, matière consommable (soudure, brasure, peinture, etc.).
La première charge de R22, d'huile frigorifique.
Le transport, le montage et la mise en service de l'installation (engin de levage fourni par le client).

Variantes

Détendeur électronique

Mise en place sur chaque évaporateur d'un détendeur électronique de marque DANFOSS monté à l'extérieur :
- système permettant de stabiliser rapidement et avec précision la régulation après une variation de charge importante
- exploitation optimale de l'évaporateur
- système insensible aux variations de pression de condensation.

Régulation température de soufflage

Mise en place sur chaque chambre d'une vanne de température électronique montée sur la ligne d'aspiration.
- Système permettant de régler la DT de façon très précise, en contrôlant la température de l'air au soufflage :
  DT de l'ordre de 8 à 10°C en période de refroidissement, DT de 2 à 3°C en période de stockage.

1 Les exclusions

- L'amenée en force motrice à notre armoire générale placée dans la salle des machines, en section appropriée, avec protections réglementaires conformes aux normes en vigueur (puissance électrique totale absorbée en régime = 80 kW).
- La fourniture de l'eau sous pression 3 bars en salle des machines.
- Tous travaux de génie civil nécessités par la mise en œuvre de notre matériel sur place, travaux ou réservations qui devront être conformes à nos plans, notamment :
  - réservations ou percements nécessaires pour le passage des canalisations au travers des parois,
  - aménagement de la salle des machines, y compris socles, caniveaux, puisard, etc,
  - aménagement de l'emplacement du condenseur (support).
- Les points de suspension des évaporateurs à la charpente du bâtiment.
- Les évacuations des eaux de dégivrage au niveau du sol, à proximité de chaque frigorifère.
- Tous frais de contrôle à l'exception de ceux que nous aurons acceptés à la signature du contrat et précisés dans ce dernier.
- En général, tout ce qui n'aura pas été expressément défini dans notre offre.
- Le compte prorata.

2 Commentaires

Le devis ci-dessus présenté est particulièrement complet, précis, détaillé, avec effort d'explication. Ainsi chacun sait à quoi il s'engage, quel matériel lui sera fourni, ce qu'il pourra facilement contrôler et ce qui est à la charge de l'installateur ou du maître d'ouvrage. Des détails sont révélateurs. La mention des siphons sur la ligne d'aspiration traduit le soin apporté à la tuyauterie. Ils ne sont pas absolument obligatoires, il faut du temps pour les réaliser, mais l'expérience a montré que leur présence était favorable au bon fonctionnement de l'installation pour les entraînements d'huile. L'indication des poids des appareils est précieuse pour connaître les surcharges à prévoir en accrochage sur la charpente, ou en galerie technique.
L'indication de variantes possibles mais pas obligatoires est un élément d'étude appréciable; ce qui nous conduit au paragraphe suivant, comparatif.

Etude comparative de consommation electrique

QUELLE EST LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE D'UNE CHAMBRE FROIDE ?

La phase d'étude d'un projet doit être mise à profit pour réaliser des études comparatives entre différentes solutions techniques possibles, afin d'en faire un choix raisonné. Ainsi, l'examen de la consommation électrique, montre que pour 8 chambres de 240 t, la solution la plus économique est celle de l'installation centralisée en détente directe, de 10 % inférieure à la solution individuelle et de 20 % inférieure à une solution en réfrigération indirecte.

3 cas de figure sont envisagés : 1 chambre en détente directe individuelle (DDI), huit chambres en détente directe centralisée (DDC), huit chambres en centralisée, réfrigération indirecte (EG) avec du R22 dans tous les cas.

1 Données

Refroidissement

On remarquera que le bilan de stockage est de l'ordre de 20 % de celui du refroidissement. Il est bien sûr identique pour les 8 chambres qu'elles soient en détente directe ou en eau glycolée.

	DDI	DDC	EG
Introduction (tonnes)	20	120	120
Tonnage total (tonnes)	240	1920	1920
Température d'introduction (°C)	25	25	25
Température de conservation (°C)	1	1	1
Température d'été (°C)	25	25	25
Température d'hiver (°C)	5	5	5
Temps de fonctionnement			
Refroidissement (h)	20	20	20
Puissance refroidissement (Watts)	40252	265280	265280
Puissance entreposage (Watts)	7540	57628	57628

Entreposage

	DDI	DDC	E.G
Bilan journalier (Watt.h/jour)	180 960	1383000	1383000
Temps de fonctionnement (h)	4,3	5,2	5,4
Temps de dégivrage (h)	2,25	2,9	2,6

Ventilateur-évaporateur en GV - pendant la réfrigération
- pendant le dégivrage
en PV et en réduit (3 sur 6)
en arrêt réfrigération

2 Descriptif

Evaporateur

Quel que soit le cas de figure, bien sûr l'évaporateur de chaque chambre est le même.

- 1 évaporateur par chambre

Marque PROFROID
Type ..... CR 61
Puissance frigorifique ..... 59 740 Watts à - 5°C – DT 5°C
Nombre de ventilateurs ..... 6 – CB 53
Puissance électrique
absorbée en régime ..... 0,65 kW/moteur
Surface ..... 542 m^2 ratio : 0,49 m^2 par m^3

Groupe de production de froid

	1 chambre	8DD	8EG
Marque	COMEF	COMEF	COMEF
Type	D4RH2500	CR40U668X	CRG40U868X
Nombre et puissance (CV)	1 x 25	4 x 40	4 x 50
Production de froid (Watts)	41 760	269 120	255 200
Régime (°C)	-5 / +40	-5 / +40	-13 / +40
Puissance électrique absorbée en régime (kW)	15	80	104

On remarque que l'eau glycolée fait travailler à une pression d'évaporation plus basse et a donc besoin de plus de puissance électrique.

Condenseur à air

- Il est identique pour les deux cas à 8 chambres.

Marque ..... PROFROID
Type C3AH 8MD3
Composition ..... 8 ventilateurs ∅762 mm
Puissance rejetée ..... 362 630 Watts – DT 12°C
Puissance électrique absorbée en régime 1,1 kW/moteur

Pour la chambre unique, il est intégré au groupe et comprend 4 ventilateurs de 0,25 kW chacun.

Sergef
des Services adaptés à vos besoins
SERGEF S.A. FROID INDUSTRIEL
52, rue Paul-Doumer - 78510 TRIEL-SUR-SEINE
Tél. : (1) 39.74.66.56 - Fax : 39.70.83.71

Pompes pour l'eau glycolée

- 1 pompe primaire
  Marque ..... KSB
  Débit ..... 80 m³/h
  Puissance électrique absorbé en régime ..... 3 kW
- 1 pompe secondaire
  Marque ..... KSB
  Débit ..... 80 m³/h
  Puissance électrique absorbée en régime ..... 4 kW

3 Consommation électrique

Consommation journalière (kW/h)

	DDI	DDC	EG
Compresseur	64,5	416	561,6
Condenseur		45,8	47,5
Réfrigération ventilateur	16,8	90,5	81,1
Dégivrage ventilateur	8,8	70,2	70,2
Réduit ventilateur	34,0	294,1	298,7
Pompe primaire			16,2
Pompe secondaire			41,6
TOTAL	**128,4**	**916,6**	**1116,9**

Consommation sur 8 mois (kW/h)

	DDI	DDC	EG
TOTAL	30816	219984	268056
Moyenne par chambre	30816	27498	33507
%	100	89	109

Ce plan met en évidence l'intérêt de l'installation centralisée par rapport à l'installation individuelle. Elle permet en particulier de diminuer la puissance installée rapportée au kg. L'augmentation de consommation de l'eau glycolée est également marquée de l'ordre de 20 % par rapport à la solution détente directe. Ce surcoût doit être raisonné en terme d'amortissement de l'investissement et du fonctionnement, sachant que l'eau glycolée permet une perte en poids moindre d'environ 1%. Il faut également tenir compte du fait qu'une perte en poids minimale de l'ordre de 3 % est nécessaire pour pouvoir conditionner les fruits avec un minimum de dégâts lors du passage en machine.

7 ANNEXES

Annexe 1

Intensité respiratoire
En milligrammes de CO_2 dégagé par kilogramme et par heure

	Température	Quantité de CO_2
Pomme	0°C	2 à 4
	15°C	14 à 31
Poire	0°C	4 à 10
	10°C	10 à 28

Annexe 2

Chaleur de respiration
En kilocalories par tonne et par 24 h

	0°C	5°C	10°C	20°C
Pomme précoce	200-380	320-650	850-1250	1200-2500
Pomme tardive	110-220	280-430	420-640	900-1500
Poire précoce	160-300	460-950	600-1300	2400-5500
Poire tardive	160-220	360-850	480-1150	2000-4500

Pour transformer les kcal en kilojoules, multiplier par 4,18.

Annexe 3

Unités de travail, d'énergie mécanique

L'unité légale est le joule (J)

Valeur obtenue en	j	kgm	Wh	kWh
Valeur donnée en				
Joule (J x)	1	0,102	$2,78.10^{-4}$	$2,78.10^{-7}$
Kilogramme mètre (kgm x)	9,81	1	$2,78.10^{-3}$	$2,78.10^{-6}$
Watt heure (Wh x)	$3,6.10^{3}$	3,67	1	1.10^{-3}
Kilowatt heure (kWh x)	$3,6.10^{6}$	367.10^{3}	1000	1

Exemple : 1000 J = 1000 x $2,78.10^{-4}$ = 0,278 Wh

Annexe 4

Unités de puissance mécanique

L'unité légale est le watt (W)

Valeur obtenue en	W	kgm/s	ch
Valeur donnée en			
Watt (W x)	1	0,102	$1,36.10^{-3}$
Kilogramme Mètre/s (kgm/s x)	9,81	1	$1,33.10^{-2}$
Chevaux (ch x)	735	75	1

Exemple : 10 ch = 10 x 735 = 7350 W

Annexe 5

Puissance normalisée des moteurs asynchrones
Equivalence kW/ch

Kw	Ch
0,75	1
1,1	1,5
1,5	2
2,2	3
3	4
4	5,5
5,5	7,5
7,5	10
11	15
15	20
18,5	25
22	30
30	40
37	50
45	60
55	75
75	100
90	125
110	150
132	175
160	220
200	270
250	350
315	430
355	480
400	550
450	610
500	680
560	760
630	860
710	960
800	1100
900	1250
1000	1350

Annexe 6

Unités de quantité de chaleur ou de froid

Unité légale, le Joule (J)

Valeur obtenue en	J	Wh	kWh	Cal	Kcal	fg
Valeur donnée en						
Joule (J)	1	$2,78.10^{-4}$	$2,78.10^{-7}$	0,239	$0,239.10^{-3}$	$-0,239.10^{-3}$
Watt heure (Wh)	$3,60.10^{3}$	1	10^{-3}	860	0,860	- 0,860
Kilowatt heure (KWh)	$3,60.10^{6}$	10^{3}	1	860.10^{3}	860	- 860
Calorie (Cal)	4,18	$1,16.10^{-3}$	$1,16.10^{-6}$	1	$9,9.10^{-4}$	$-9,9.10^{-4}$
Kilocalorie (kcal)	$4,18.10^{3}$	1,16	$1,16.10^{-3}$	10^{3}	1	- 1
Frigorie (fg)	$-4,18.10^{3}$	- 1,16	$-1,16.10^{-3}$	-10^{3}	- 1	1

NB : Une frigorie est une kilocalorie absorbée, d'où le signe négatif.
Exemple : 1000 kcal = 1000 x $1,16.10^{-3}$ = 1,16 kWh

Annexe 7

Unités de puissance calorifique ou frigorifique

Unité légale le Watt (W)

Valeur obtenue en	W	Kcal/h	fg/h
Valeur donnée en			
Watt (W x)	1	0,860	- 0,860
Kilocalorie/h (kcal/h x)	1,16	1	- 1,00
Frigorie/h (fg/h x)	- 1,16	-1	1

Exemple : 1000 fg/h = 1000 x -1,16 = -1160 W

Annexe 8

Unités de pression

Unité légale le Pascal (Pa)

Valeur obtenue en	Pa	atm	kgf/cm^2	Bar	mm Hg	mm H_2O
Valeur donnée en						
Pascal (Pa)	1	$9{,}87.10^{-6}$	$1{,}020.10^{-5}$	10^{-5}	$7{,}5.10^{-3}$	0,102
Atmosphère (Atm)	$1{,}013.10^{5}$	1	1,033	1,013	760	$1{,}03.10^{4}$
Kilogramme force/cm^2 (kgf/cm^2)	$9{,}81.10^{4}$	0,968	1	0,981	735	10^{4}
Bar (Bar)	10^{5}	0,987	1,020	1	750	$1{,}02.10^{4}$
Millimètre de mercure (mm Hg)	133	$1{,}31.10^{-3}$	$1{,}36.10^{-3}$	$1{,}33.10^{-3}$	1	13,59
Millimètre d'eau (mm H_2O)	9,81	$9{,}68.10^{-5}$	10^{-4}	$9{,}81.10^{-5}$	0,735	1

Exemple :
30 mm H_2O = 30 x 9,81 = 294,3 Pa ou 30 x 10^{-4} = 0,003 kgf/cm^2

Annexe 9

Unité de conductivité thermique

Le Watt, par mètre par degré Kelvin

Valeur obtenue en	W/m.K	kcal/m.h.K
Valeur donnée en		
Watt par mètre par degré (W/m.K)	1	0,860
Kilocalorie par mètre par heure par degré (kcal/m.h.K)	1,16	1

Exemple :
100 kcal/m.h.K = 100 x 1,16 = 116 W/m.K
NB : 1 degré Kelvin = 1° Celsius + 273
15°C = 288°K

Annexe 10

Unité de densité de flux de chaleur

Unité légale le Watt par mètre carré (W/m^2)

Valeur obtenue en	W/m^2	$kcal/m^2.h$
Valeur donnée en		
Watt par mètre par degré (W/m^2)	1	0,860
Kilocalorie par mètre carré et par heure ($kcal/m^2.h$)	1,16	1

8 ADRESSES UTILES

Sigle	Nom	Adresse	Téléphone
A.F.F.	Association Française du Froid	17, rue Guillaume-Apollinaire 75006 Paris	Tél. (1) 45 44 52 52
AFNOR	Association Française de Normalisation	Tour Europe Cedex 7 92080 Paris La Défense	Tél. (1) 47 78 17 26
CEHM	Centre Expérimental Horticole de Marsillargues	Mas de Carrière 34590 Marsillargues	Tél. 67 71 55 00
CEFEL	Centre d'Expérimentation Fruits et Légumes de Midi-Pyrénées	Domaine de Capou 82000 Montauban	Tél. 63 03 71 77
CEMAGREF	Centre National de Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts	Division des Industries agricoles et alimentaires du Froid Parc de Tourvoie 92160 Antony	Tél. (1) 40 96 61 21
CNEFIC	Compagnie Nationale des Experts judiciaires en génie frigorifique, génie climatique et isolation frigorifique auprès des tribunaux	17, rue Guillaume-Apollinaire 75006 Paris	Tél. (1) 45 44 52 52
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	4, avenue du Recteur Poincarré 75016 Paris	Tél. (1) 40 50 28 28
CTIFL	Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes	22, rue Bergère 75009 Paris	Tél. (1) 47 70 16 93
CTIFL	Centre de Technologies	Route de Mollègès 13210 St-Rémy-de-Provence	Tél. 90 92 05 82
IIF	Institut International du Froid	177, bd Malesherbes 75017 Paris	Tél. (1) 42 27 32 35
INRA	Institut National de Recherche Agronomique	Station de Technologie Domaine de St-Paul 84140 Montfavet	Tél. 90 31 60 00
SEEFNL	Station d'Etudes et d'Expérimentation Fruitières Nord-Loire	La Morinière 37800 St-Epain	Tél. 47 65 81 21

9 BIBLIOGRAPHIE

1 Bibliographie générale

Ouvrages

ASSOCIATION FRANÇAISE DU FROID (A.F.F.) - 17, rue Guillaume Apollinaire 75006 Paris - GAC André - *Automatisme des systèmes frigorifiques*, 1974.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR) - Tour Europe Cedex 7 92080 Paris La Défense - NFE 35-400, Novembre 1980. - *Installations frigorifiques. Règles de sécurité.*

BAILLIERE J.B. et Fils - 19, rue Haute Feuille 75 Paris - LEBLOND C. et PAULIN A., 1968 - *La conservation frigorifique des pommes et des poires.*

CENTRE TECHNIQUE INTERPROFESSIONNEL DES FRUITS ET LÉGUMES (CTIFL) 22, rue Bergère 75009 Paris - MORAS P., CHAPON J.F., 1983 - *Entreposage et conservation des fruits et légumes frais.*

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (CSTB) - 4, avenue du recteur Poincaré 75016 Paris - DTU n°45.1, septembre 1990 - *Isolation thermique des locaux et bâtiments frigorifiques.* - DTU n°67.1, septembre 1990 - *Isolation thermique des circuits frigorifiques.*

EYRELLES - 61, boulevard St Germain 75005 Paris - CONAN J.G., 1988 - *Réfrigération industrielle.*

INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID (I.I.F) - 177, bd Malesherbes 75017 Paris - 1968 - *Chambres froides à atmosphère contrôlée.* - 1976 - *Guide de l'entreposage frigorifique.* - 1973 - *Stations de conditionnement et d'entreposage de fruits et légumes.*

PGC EDITIONS - BP 105, 5, avenue de Verdun 94208 Ivry sur Seine - BALLOT G., DUMINIL M., 1981 - *Isolation frigorifique, guide théorique*

et pratique. - MAAKE-ECKERT, 1983 - *Le nouveau Pohlmann, manuel technique du froid.* - NOACK H., SEIDEL R., 1991 - *Pratique des installations frigorifiques.* - RAPIN P.J. - Installations frigorifiques, 2 tomes.

TRANE EUROPE - BP 127, 88004 Epinal Cedex - 1979 - *Manuel de réfrigération, compresseurs à pistons.*

Périodiques

REVUE PRATIQUE DU FROID - PC Edition - BP 105, 5, avenue de Verdun 94208 Ivry sur Seine.

REVUE GÉNÉRALE DU FROID - APG Edition, BP 53, 28240 Meauce.

BULLETIN DE L'I.I.F. - I.I.F. 177, boulevard Malesherbes 75017 Paris.

INFOS ***Ctifl*** - ***Ctifl***, 22 rue Bergère 75009 Paris.

2 Bibliographie détaillée

Chapitre 1 - Projet d'entreposage frigorifique

ANQUEZ M., 1961 - *Coût de construction et d'exploitation des chambres froides à fruits* - Arboriculture Fruitière, n°83, p.26-28.

BRAUN H., ANGRUNER B., 1990 - *Entrepôts frigorifiques de fruits. Bilan énergétique - Revue pratique du froid*, n°710, p.102-109.

CHLAHOVIETSKY V.M., SINYE D., 1985 - *Examen de l'influence de la configuration de l'entrepôt frigorifique sur le montant des dépenses d'installations et des frais d'exploitations* - Revue Générale du Froid, p.327-330.

DELAUNEY J., RAPHEL J.P., 1986 - *La rénovation des stations Fruitières* - Revue Générale du froid, p.171-176.

FONTANEL C., 1992 - *Une station Fruitière se modernise* - Revue Pratique du Froid, n°746, p.32-39.

FONTANEL C., 1991 - *Soleil d'Oc, cap sur les fruits* - Revue pratique du froid, n°739, p.38-40.

FONTANEL C., 1991 - *Comment réagir en cas de litiges ? Comment les éviter ?* - Revue Pratique du Froid, n°728, p.82-86.

FONTANEL C., 1991 - *Eléments d'étude et de réalisation de la construction des stations* - Revue Pratique du Froid, n°724, p.6-7.

FONTANEL C., 1991 - *Développements de l'atmosphère contrôlée, toujours plus de qualité* - Revue Pratique du Froid, n°724, p.72-78.

FONTANEL C., 1991 - *Bâtiments et circuits frigorifiques, Règles de l'art et DTJ* - Revue Pratique du Froid, n°722, p.40-42.

FONTANEL C., 1990 - *Stations Fruitières, Quelles Règles pour l'entretien ?* - Revue Pratique du Froid, n°710.

FONTANEL C., 1989 - *Les incendies dans les entrepôts frigorifiques. Origines et prévention* - Revue Pratique du Froid, n°698, p.49-56.

FONTANEL C., 1989 - *La réception des travaux* - Revue Pratique du Froid, n°684. p.82-85.

FONTANEL C., 1987 - *Stations Fruitières en atmosphère contrôlée, maintenance et litiges* - Revue Pratique du Froid, n°642, p.61-74.

FONTANEL C., 1986 - *L'équipement frigorifique, halte aux litiges* - Revue Pratique du Froid, n°620, p.76-84.

FONTANEL C., 1986 - *Quoi de neuf en atmosphère contrôlée ?* - Revue Pratique du Froid, n°628, p.58-65.

FONTANEL C., 1986 - *Les stations Fruitières, construction, exploitation* - Revue Générale du Froid, n°4, p.165-170.

FONTANEL C., 1985 - *L'évolution des stations Fruitières* - Revue Pratique du Froid, n°596, p.35.

FONTANEL C., 1979 - *Coût d'exploitation des installations frigorifiques* - Revue Pratique du Froid, n°474, p.33-39.

FONTANEL C., 1977 - *Les stations Fruitières, maintenance et exploitation* - Revue Pratique du Froid, n°434, p.45-52.

GAC A., 1967 - *Tendances actuelles dans la construction des locaux d'entreposage des fruits* - ***Ctifl*** documents n°15, p.17-24.

GAC A., 1982 - *Organisation d'une station de traitement de fruits et légumes* - Revue Générale du Froid, n°8, p.229-234.

GÉROMIN A., 1981 - *Quelques éléments économiques concernant les coûts de conservation et les coûts actuels d'investissements* - Notre Région, l'Arboriculture Tourangelle, p.1-3.

HERREGODS M., CLAESEN J., 1990 - *Les bâtiments d'exploitations fruitières destinés à la conservation et au conditionnement des fruits* - Le Fruit Belge n°431, 5 p.

HERREGODS M., 1989 - *Nouveaux Développements dans la conservation des fruits* - Le Fruit Belge, n°438, p.306-312.

HERREGODS M., 1991 - *Nouveaux Développements dans la conservation des fruits* - Le Fruit Belge, n°434, p.167-182.

LETEINTURIER J., MORAS P., 1980 - *Ou en sont les stations Fruitières ?* - Génie rural, p.37-42.

MARCELLIN P., 1967 - *L'entreposage frigorifique des pommes en atmosphère contrôlée* - ***Ctifl*** Documents n°15, p.6-16.

MAUREL G., 1968 - *Les stations Fruitières, perspectives d'évolution* - ***Ctifl*** Documents, n°20, p.2-11.

PIAZZA I., 1986 - *La comparaison des offres relatives aux installations frigorifiques* - ABF Conférence du 20 novembre 1986, 8 pages.

SCHOUTEN SP. CA, 1991 - *Beuvering op drie punten te verbeteren* - Groenten Fruit, n°16, p.8-9.

THÉVENOT R., 1981 - *Stations Fruitières, leur Développement en France depuis 30 ans* - Compte rendu de l'Académie d'Agriculture, Tome 67, p.375-384.

THÉVENOT R., 1981 - *Évolution technique des stations Fruitières* - Compte rendu de l'Académie d'Agriculture, Tome 67, p.566-575.

VIARD P., CHAPON JF., 1977 - *La chaîne du froid, possibilité d'amélioration dès la station Fruitière* - Arboriculture Fruitière, n°281-282, p.37-38.

WAARDENBURG, 1985 - *Aspecten bij antwerp en bouw van vries* - en Koelhuizen. Koelteckniek.

Chapitre 2 - L'isolation

AUDIFFRET J.P, 1984 - *Les panneaux sandwichs isolants pour chambres froides* - Revue Générale du Froid, n°7, p.461-474.

BALLOT G., DUMINIL M., 1982 - *Isolation frigorifique, détermination des épaisseurs d'isolation* - Revue Pratique du Froid n°524, p.37-42.

CARLES L., 1984 - *Que peut-on attendre de la thermographie infrarouge dans le domaine du froid ?* - Revue Générale du Froid, p.97-101.

CARLES L., 1981 - *Contrôle de l'isolation thermique par thermographie infrarouge* - Revue Pratique du Froid, n°502, p.45-47.

DESLANDRES D., 1990 - *Sols des bâtiments frigorifiques et résistance mécanique, choisir l'isolant* - Revue Pratique du Froid, n°708, p.90-93.

DUSSOSSOY A., REYMOND P., 1979 - *Etude des isolants* - Revue Pratique du Froid, n°458, p.35-40.

DUSSOSSOY A., REYMOND P., 1979 - *Panneaux isothermes pour chambres froides non démontables* - Revue Pratique du Froid, n°462, p.39-43.

FONTANEL C., 1990 - *Chambres froides en atmosphère contrôlée, l'isolation rentable* - Revue Pratique du Froid, n°718, p.42-48.

MARTIN L., 1984 - Et si nous parlions sol - La surgélation n°230, p.46-50.

MASSET R., 1981 - *Une nouvelle fabrication de panneaux sandwichs injectés* - Revue Générale du Froid, p.499-501.

MITEV P., 1990 - *Wanner Isofi, les cathédrales du froid* - Revue Pratique du Froid, n°718, p.36-41.

THUT R., 1984 - *L'isolation des chambres froides et des matériels frigorifiques, évolution et tendances* - Revue Pratique du Froid, n°570, p.50-52.

VALLOT A., 1980 - *Isolation des sols de chambres froides* - Revue Pratique du Froid, n°480, p.49-55.

VALLOT A., 1981 - *Isolation des plafonds de chambres froides et locaux conditionnés* - Revue Pratique du Froid, n°502, p.39-44.

Chapitre 3 - Le froid

DELAUNAY Y., 1988 - *Le givrage, un phénomène irritant et de grande importance économique* - Revue Générale du Froid, p.89-90.

DUMINIL M., 1988 - *Aspects théoriques de la formation du givre sur les surfaces froides* - Revue Générale du Froid, n°3, p.93-100.

FONTANEL C., 1978 - *La conservation des fruits en chambre froide, comment limiter les déperditions et les pertes de poids* - Revue Pratique du Froid, n°422, p.45-51.

FONTANEL C., 1985 - *Éléments de comparaison des compresseurs* - Revue Pratique du Froid, n°594, p.37-47.

GOTTFRIED E., 1987 - *L'huile frigorifique, un mal nécessaire* - Revue Pratique du Froid, n°646, p.54-57.

LELIEVRE B., 1983 - *A propos des fuites d'ammoniac* - Revue Pratique du Froid n°556, p.49-56.

LENTZ C.P., VAN DEN BERG L., MC CULLOUGH R.S., 1971 - *Study of factors affecting temperature, relative humidity and moisture loss in fresh fruit and vegetables storages* - J. Inst. Can. Technol. Alimt. Vol.4, p.146-153.

LENTZ C.P., VAN DEN BERG L., 1973 - *Factors affecting temperature, relative humidity and moisture August 1973 in fresh fruit and vegetable storage* - ASURAE Journal, p.55-60.

LINGBORG A., 1988 - *Ammonia detectors in freezer chambers* - IIAR, 10th Annual Meeting, Savannah-Georgia, p.225-235.

LORENTZEN G., 1988 - *Ammonia : an excellent alternative* - Revue Internationale du Froid, Vol.11, n°4, p.248-252.

MALEK A., 1988 - *Le givrage des évaporateurs* - Revue Pratique du Froid, n°656, p.66-68.

PARIZET B., 1987 - *Les tours de refroidissement* - Revue Pratique du Froid, n°24, p.65-69.

PASQUIER B., 1992 - *Évolution des échangeurs à plaques dans l'industrie du froid* - Revue Générale du Froid, n°3, p.45-51.

PATIN A., 1987 - *Technologies d'automatisation et économie des dégivrages en entrepôt frigorifique* - Revue Générale du Froid, n°3, p.593-595.

PUGH E., 1981 - *Procedure in case of ammonia leak in cold storage buildings* - Institut International du Froid, Commission C2, D1, D2, D3, Boston,p.609-617.

RIGOT G., 1987 - *Le delta T idéal* - Revue Pratique du Froid n°25, p.52-61.

RIGOT G., 1978 - *Prédétermination de la consommation d'énergie d'une installation frigorifique à compression* - Revue Pratique du Froid, n°454 , p.63-70.

RIGOT G., 1978 - *Prédétermination de la consommation d'énergie d'une installation frigorifique à compression (suite)* - Revue Pratique du Froid, n°456 , p.51-60.

RIGOT G., 1978 - *Marche continue et marche cyclique des installations frigorifiques à compression* - Revue Pratique du Froid, n°458 , p.51-60.

RIGOT G., 1978 - *Marche continue et marche cyclique des installations frigorifiques à compression* - Revue Pratique du Froid, n°460 , p.39-50.

SASTRY S.K., 1985 - *Pertes d'eau des denrées perissables : recherche-développement récents* - Revue Internationale du Froid, vol.8, n°6, p.343-346.

SHAW M., 1987 - *Preparing for ammonia emergencies in refrigerated warehouses* - C.R. XVIIe Congrès International du Froid, Vienne, p.189-195.

VRINAT G., 1990 - *La sécurité et l'ammoniac* - Revue Générale du Froid, n°5, p.74-77.

VRINAT G., 1988 - *Détérioration des performances des évaporateurs en cours de givrage* - Revue Générale du Froid, n°3, p.101-104.

VRINAT G., 1985 - *Piston ou vis ? L'heure du choix* - Revue Générale du Froid, n°11, p.633-641.

VRINAT G., 1984 - *Les hélico-compresseurs ou compresseurs à vis* - Revue Internationale du Froid, n°2, p.107-114.

VRINAT G., 1982 - *Les hélico-compresseurs ou compresseurs à vis* - Revue Générale du Froid, n°9, p.453-463

WAELTI H., CAVALIERI R., 1989 - *Controlled atmosphere storage refrigeration energy efficiency* - Ve Congrès International de l'A.C. Wenatchee, p.469-477.

Chapitre 4 - L'atmosphère contrôlée

BEEK VAN G., LEK VAN CEN CA., 1980 - *Cel verminderen met een luchtbuffer* - Koeltechniek n°12, p.278-281.

BARTSCH J.A., WOLANYK A.M., BLANPIED G.D., 1985 - *Economic analysis of systems used to establish C.A. atmosphere* - 4e Congrès d'atmosphère contrôlée. Raleigh p.336-346.

BLANPIED G.D., 1989 - *A study of alternative methods for maintaining low ethylene concentration in apple CA Rooms* - 5e Congrès d'atmosphère contrôlée, Wenatchee p.375-384.

BRIAN R.J., 1989 - *Liquid nitrogen and gaseous nitrogen - CA applications, Pacific Northwest 1980-1989* - 5e Congrès d'atmosphère contrôlée, Wenatchee, p.395-399.

CARLES L , 1985 - *Atmosphère contrôlée* - Arboriculture Fruitière n°377, p.27-38.

CAVALIERI R.P., CHIANG W.C., WAELTI H. - *Nitrogen scrubbing of C.A.*

storages, a simulation study - American Society of Agricultural engineers, n°32, p.1709-1713.

CUBE VON H., LUDWIG E, 1983 - *Surpression et dépression dans les chambres froides* - Revue Pratique du Froid n°550, p.50-60.

DIEDERING D.E., MC REYNOLDS K.B., 1985 - *Generon air separation system* - 4e Congrès d'Atmosphère contrôlée, Raleigh, p.325-335.

DILLEY C.L., DILLEY D.R., 1985 - *New technology for analyzing ethylene and determining the onset of the ethylene climacteric of apples* - 4e Congrès d'Atmosphère contrôlée, Raleigh p. 353-362.

DILLEY D.R., 1989 - *Air separator technology development for controlled atmosphère storage* - 5e Congrès d'Atmosphère Contrôlée, Wenatchee p.409-148.

DOVER C.J., 1983 - *The control of superficiel scald of Bramley's seedling apples by the removal of ethylene from the storage atmosphere* - East Malling 16e Congrès International du Froid, p.165-170.

DOVER C.J., 1984 - *Commercial scale catalytic oxydation of ethylene as applied fruit stores* - East Malling, p.373-384.

FETKEN U. HEVER W., HARMS U., 1979 - *Verfahren zur Erzeugung einer zweifach gestenerten atmosphäre in Obstlagern auf der Grundlage von synthetischen "Zeosorb" Molekilasieben Gartenbau*, n°11, p.339-341.

FONTANEL C., 1966 - *Les chambres froides, stockage de fruits en atmosphère contrôlée* - Revue Pratique du Froid. p.5-12.

FONTANEL C., 1972 - *L'atmosphère contrôlée dix ans après* - Revue Pratique du Froid. n°316, p.27-32.

FONTANEL C., 1975 - *Stations Fruitières (1ère partie)* - Revue Pratique du Froid, n°390, p.47-51.

FONTANEL C., 1976 - *Stations Fruitières (2e partie)* - Revue Pratique du Froid, n°392, p.31-40.

FONTANEL C., 1980 - *Les progrès en atmosphère contrôlée* - Revue Pratique du Froid, n°486, p.35-39.

GORINI F., GRASSI M., 1988 - *Valutazione di un nuovo tipo di generatore diazoto* - Il Freddo, p.185-193, juin 1988.

JAMIESON J., 1989 - *An improved activated carbon adsorber for controlling CO2 in fruit stores* - Institut International du Froid. Davis, 6 pages.

JOURDAIN J.M., 1988 - *L'éthylène dans les chambres de conservation* - Infos ***Ctifl***, n°40, p.35-37.

JOURDAIN J.M., WESTERCAMP P., 1990 - *Elimination de l'éthylène dans les chambres froides* - Infos ***Ctifl***, n°65, p.23-30.

KALTENBACH M., 1968 - *Les chambres à atmosphère contrôlée* - La Pomologie Française n°1, p.3-6.

KAMINSKY K., 1988 - *Liquid nitrogen for CA Storages* - Fruit Grower, p.22-24, janvier 1988.

KOSTER G.J., VAN MALE J., 1983 - *Air tighness of cold store rooms and their protection against excessive pressure differences* - Institut International du Froid, Paris, p.55-58.

LEBLOND C., 1968 - *Etude de trois dispositifs expérimentaux de régulation de la composition de l'atmosphère de chambres froides étanches, destinées à la conservation des fruits* - Revue Générale du Froid, n°10, p.1169-1182.

MACHADO V., 1983 - *Depressoes e sobrepressoes nas camaras frigorificas. Diapositivos para o equilibrio das pressoes* - Frio, p.1721.

MACHIELSEN C.H.M., 1981 - *Ontdichtheden in de wenden van Koude ruinten* - Koeltechniek 74, n°2, p.33-37.

MALCOLM G.L., BEAVER E.R., 1989 - *Utilization of advanced technology CA equipment for storage, transportation and marketing* - Institut International du Froid - Davis, 8 pages.

MALCOLM G.L., 1989 - *Calculational methods for determining storage room pull down rates and control capacities of controlled atmosphere equipment* - Ve Congrès atmosphère controlée, Wenatchee, p.441-448.

MALE VAN J., 1980 - *Ondichtheid van de wanden in het koel en vriesbedriff* - Koeltechniek 73, n°10, p.223-228.

MARCELLIN P., 1990 - *La conservation frigorifique en atmosphère contrôlée* - Arboriculture Fruitière, n°434, p.61-68.

MARCELLIN P., 1986 - *Conservation des fruits en atmosphère contrôlée. Situation actuelle* - Revue Générale du Froid. p.155-159.

MARCELLIN P., 1974 - *Conservation des fruits et légumes à l'aide de membranes polymères* - Revue Générale du Froid, p.217-236.

MARCELLIN P.,1967 - *Conservation des pommes et des poires en atmosphère contrôlée* - Arboriculture Fruitière, n°165, p.20-29.

MARCELLIN P., LEBLOND C., 1963 - *Les vues de l'ingénieur sur la station Fruitière de demain* - BTI, p.15-29.

MAUREL G., LETHERY R. - *Caractéristiques des générateurs d'atmosphère* - Institut International du Froid, p.97-105.

MEEUWSE P., 1992 - *Niew tijdperk von fruitbenwing. Fruitteelt 24*, p.14-16.

NAVARRETE H.,1988 - *Manejo de la monzana en atmosfera controlada* - Revue Fruticola, n°1, p.24-26.

NIEUWEN HUIZEN VAN G.H, 1983 - *Zuchtlekkage in koelzellen en koelvoertuigen* - Koeltechniek 76, n°2, p.29-33.

PATIN A., 1978 - *Dépressions et soupapes en chambres froides* - Revue Générale du Froid, p.11-15.

PATIN A., 1980 - *Usage des soupapes d'équilibrage en chambres froides* - Revue Générale du Froid, p.558-560.

PETERSON S.J., LIPTON WY, VOTA M., 1989 - *Methods for premixing gases in pressurized cylinder for use in controlled atmosphère experiments* - Hort Science 24, p.328-331.

PLASSE VAN DE J.B , 1979 - *Eisenvoor gasdichtheid van C.A. cellan* - Kodtechnick 72, n°5, p.94-95.

ROUSSEAU J.C., 1966 - *L'azote gazeux, un auxiliaire des chambres atmosphère contrôlée* - Arboriculture Fruitière, n°152.

SHARP A.K., 1982 - *Determination of gas-tightners of containers using a pressure decay timer* - Revue Internationale du Froid, n°6, p.348-350.

THUT R., 1990 - *Précautions pour mises en service limites des soupapes d'équilibrages* - Isolation, p. 47-53.

ULRICH R., LEBLOND C., 1965 - *Utilisation des chambres froides équipées de laveurs d'air au cours des campagnes 1962-63 et 1963-64* - ***Ctifl*** Documents, p.1-5.

WAELTI H., CAVALIERI R., 1990 - *Matching Nitrogen equipment to your needs* - Waghington State University Tree Fruit post harvest journal, 11 pages .

WOYCIECHOWSKI J., 1988 - *Swing therm new devices for ethylene destruction* - Fruit Science reports Skierniewice, Poland n°3, p.117-121.

WOYCIECHOWSKI J., BLANPIED G.D., BARTSCH J.A., 1985 - *A comparaison of ethylene renoval by means of catalytic combustion and chemical absorption* - 4e Congrès Atmosphère Contrôlée, Raleigh, p.363-373.

Chapitre 5 - Mesures

ANONYMOUS, 1967 - *Aux Etats Unis, conservation prolongée des pommes par régulation de l'atmosphère durant le stockage* - Arboriculture Fruitière, n°160, p.18-23.

BILLIARD F., 1986 - *Les capteurs nécessaires à l'informatisation de la production du froid* - Revue Générale du Froid, n°12, p.679-693.

COQUINOT J.P., RICHARD L., 1992 - *Entreposage des pommes et des poires. Automatisation de l'atmosphère contrôlée* - Infos ***Ctifl***, n°79, p.23-29.

CRETINON B., MERIGOUT J., 1981 - *La mesure de l'humidité de l'air* - Revue Pratique du Froid, n°12.

Ctifl, 1980 - *Mesure et contrôle des conditions de conservation* - Note d'information n°6, p.1-12.

HERREGODS M., 1986 - *La gestion de chambres froides par ordinateur* - Le Fruit Belge n°416, p.272-275.

JOURDAN G.E., 1989 - *Computerized control for refrigeration and controlled atmosphère storage* - Institut International du Froid, Davis, 8 pages.

LOUGHEED E.C., BISHOP D.J., BLANPIED G.D. - *Sources of variation and variability in measuring and adjusting controlled atmospheres* - p.213-228.

POTTIER M., PECOURT P., 1987 - *De la télésurveillance à la télémaintenance, un serveur télématique chez Matal* - Revue Pratique du Froid, n°642, p.101-105.

RIEMER W., ROSS R., 1982 - *Measurement and control*, vol.15, p.49-53, february.

SHARPLES R., JAMESON Y., 1980 - *Computerised atmosphere control in apple stores* - Cropstorage, p.22-23.

SCHELFHOUT L., 1990 - *L'ordinateur et la Conservation des fruits* - Le Fruit Belge, n°431, 3 pages.

THOMAS J., 1986 - *Les installations frigorifiques informatisées. La régulation, le bon choix* - Revue Générale du Froid, n°10, p.537-546.

X, 1990 - *Les appareils de mesure de la vitesse de l'air* - Chaud Froid Plomberie, n°523, p.79-83.

DAVID BISHOP INSTRUMENTS

Consultez les experts internationaux....

OXYSTAT

APPAREILS DE MESURE DE GAZ

CONTROLEUR DE TEMPÉRATURE

Pour la mesure et le contrôle automatique des entrepôts frigorifiques des fruit et lègumes

David Bishop Instruments Limited
Station Road Heathfield East Sussex TN21 8DR TEL: 0435 - 86 - 6577 FAX: 0435 - 86 - 5331
INT.TEL: *44-435-86-6577 FAX: *44-435-5331 TELEX: 95137 DBINST G

10 GLOSSAIRE

A

1 - A.C. standard : atmosphère contrôlée dont la teneur en O_2 et en CO_2 est comprise entre 2 et 5 pour cent.

2 - Adsorbeur à charbon actif : appareil permettant d'éliminer le CO_2 en excès par fixation physique réversible sur du carbone finement divisé. La régénération se fait avec de l'air extérieur. La marche est cyclique.

3 - Aérofrigorifère : échangeur thermique destiné à refroidir l'air qui le traverse, soit par évaporation de fluide frigorigène, soit par circulation d'un frigoporteur.

4 - Appel d'offre : document par lequel on fait connaître son intention de réaliser un ouvrage auprès des fournisseurs possibles.

B

5 - Ballon de compensation : enveloppe souple, étanche à l'air, reliée à la chambre A.C. pour absorber les petites variations de pression sans modifier la composition chimique de l'air.

6 - Barrière de vapeur : ou écran pare-vapeur réalisé en matériau spécifique, elle s'oppose à l'entrée d'humidité sous forme de vapeur d'eau dans l'isolant. Elle est extérieure à l'isolant.

7 - Barrière d'étanchéité aux gaz : écran réalisé en matériau spécifique, s'oppose aux pénétrations d'air au travers des parois. Elle est à l'intérieur de l'isolant.

8 - Bilan frigorifique : détermination par le calcul de tous les apports de chaleur dans un entrepôt frigorifique pour connaître la puissance de la machinerie frigorifique nécessaire.

9 - Bouteille accumulatrice : récipient servant de réservoir au fluide frigogène sous forme de liquide haute pression.

10 - Bouteille de surchauffe : organe de détente et de séparation des phases liquide et vapeur pour l'alimentation à l'ammoniac d'évaporateur en régime noyé.

11 - Brûleur d'oxygène : appareil destiné à la descente rapide de la teneur en O_2 d'une chambre A.C., par la combustion de celui-ci avec du propane ou de l'ammoniac.

C

12 - Cahier des charges : document contractuel définissant les besoins exprimés pour la satisfaction desquels les fournisseurs soumettent des propositions. Le soin apporté à sa rédaction conditionne la qualité du résultat.

13 - C.F.C. : sigle désignant la famille des chlorofluorocarbones, fluides frigorigènes d'usage interdit pour leur effet sur la couche d'ozone, exemple le R 12.

14 - Chlorofluorocarbones : voir C.F.C.

15 - Coefficient de brassage : rapport du débit d'air des ventilateurs en m^3/h sur le volume brut de la chambre en m^3. Elevé en période de refroidissement, faible en conservation.

16 - Coefficient de conductivité (1) : expression en W/m.°C exprimant le pouvoir de transmission de chaleur d'un matériau. Elevé pour les métaux, faible pour les isolants.

17 - Coefficient de transmission thermique d'une paroi (K) : expression en $W/m^2.°C$ traduisant la capacité d'une paroi à laisser passer la chaleur.

18 - Col de cygne : courbure d'une tuyauterie en forme de U inversé pour limiter l'entraînement de liquide dans une conduite de gaz.

19 - Compresseur frigorifique : machine pour comprimer et refouler du fluide frigorigène à l'état de vapeur par un moyen mécanique.

20 - Compresseur volumétrique : compresseur dans lequel le fluide frigorigène est aspiré par augmentation de volume d'une chambre de compression et comprimé par une diminution de ce volume et refoulé dans une conduite.

21 - Compresseur à pistons : compresseur volumétrique dans lequel la compression est obtenue par le mouvement alternatif d'un piston dans un cylindre.

22 - Compresseur à vis : compresseur volumétrique dans lequel la compression est obtenue par l'engrènement rotatif de deux rotors hélicoïdaux ou vis.

23 - Condenseur : échangeur thermique dans lequel la vapeur de fluide frigorigène est liquéfiée en cédant de la chaleur à un fluide de refroidissement.

24 - Condenseur à air : condenseur dans lequel l'air est utilisé comme fluide de refroidissement.

25 - Condenseur à eau : condenseur dans lequel l'eau est utilisée comme fluide de refroidissement.

26 - Condenseur évaporatif : condenseur à ruissellement d'eau et à circulation d'air forcée, où la chaleur est enlevée par évaporation partielle d'eau.

27 - Condenseur multitubulaire à calandre : condenseur constitué par un faisceau de tubes fixés à leurs deux extrémités à une plaque de fond et renfermés dans une calandre. L'un des fluides parcourt les tubes, l'autre l'espace entre tube et calandre.

28 - CO_2 : formule chimique du dioxyde de carbone, gaz dégagé par la respiration des fruits que l'on maintient à une valeur constante dans une chambre A.C.

29 - Conduction : mode de transmission de la chaleur au travers d'un matériau.

30 - Convection : mode de transmission de la chaleur entre un milieu solide et un fluide qui se déplace à son contact.

31 - Coup de liquide : entraînement de fluide frigorigène sous forme liquide dans l'aspiration gaz du compresseur pouvant provoquer sa rupture.

32 - Chromatographie en phase gazeuse : technique de séparation utilisée pour la mesure d'éthylène.

D

33 - Déficit de pression de vapeur : différence de pression partielle de vapeur d'eau entre le fruit à saturation et l'extérieur non saturé, conditionnant le rythme de perte de poids.

34 - Dégivrage : opération périodique destinée à faire disparaître le givre qui s'est formé sur les évaporateurs, diminuant leur puissance.

35 - Densité de stockage : exprime la quantité de fruits en poids par unité de volume. 220 à 250 kg/m^2.

36 - Détente directe : système de réfrigération dans lequel le fluide frigorigène est détendu dans l'évaporateur placé dans l'enceinte à refroidir.

37 - Détendeur : régulateur de débit de fluide frigorigène liquide où s'effectue sa détente de la haute à la basse pression.

38 - Détendeur thermostatique : détendeur régulant le débit de fluide frigorigène liquide entrant dans l'évaporateur en fonction de la surchauffe du gaz à la sortie de l'évaporateur.

39 - Détendeur électronique : détendeur réglant le débit de fluide frigorigène liquide entrant dans l'évaporateur en fonction de la différence de température entre l'entrée et la sortie.

40 - Devis : document contractuel précisant l'ensemble des conditions de fournitures et d'exclusions de l'offre d'un fournisseur sur la base du cahier des charges.

41 - Diagramme enthalpique : diagramme représentant les propriétés physiques d'un fluide frigorigène permettant de tracer le cycle frigorifique, de calculer tous les éléments et l'effet des variations de régime.

42 - Diffusion gazeuse : propriété des gaz de traverser des membranes ou des parois en fonction de la nature de celles-ci et de la taille des molécules.

43 - D.T.U. : sigle pour document technique unifié, représentatif des règles de l'art de la profession concernée, ils deviennent de véritables normes à respecter pour la construction.

E

44 - Eau glycolée : solution incongelable d'eau et de monoéthylèneglycol, utilisée comme fluide frigoporteur en réfrigération indirecte.

45 - Ecartement d'ailette : distance, en mm entre les plaques métalliques disposées perpendiculairement aux tubes des évaporateurs et des condenseurs pour améliorer l'échange de chaleur avec l'air.

46 - Echangeur diffuseur membranaire : appareil régulant à la fois les entrées d'O_2 et les sorties de CO_2 par les propriétés sélectives de diffusion au travers d'une membrane en élastomère de silicone.

47 - Ecran pare-vapeur : voir barrière de vapeur.

48 - Elastomère de silicone : produit de synthèse alliant des propriétés élastiques à des caractéristiques de perméabilité aux gaz précises.

49 - E.J.P. : sigle pour effacement jour de pointe, tarif EDF préférentiel assorti d'une contrainte d'arrêt de fourniture d'électricité de quelques jours par an que l'on peut atténuer avec un groupe électrogène.

50 - Etanchéité : propriété de bien retenir les fluides, s'applique à la vapeur d'eau pour les isolants et aux gaz en A.C.

51 - Ethylène : gaz inodore de formule chimique C_2H_4 jouant le rôle d'une hormone de maturation émise par les fruits.

52 - Evaporateur : échangeur thermique dans lequel le fluide frigorigène liquide est vaporisé par la chaleur extraite du milieu à refroidir.

53 - Evaporateur multitubulaire à calandre : évaporateur constitué par un faisceau de tubes fixés à leurs deux extrémités à une plaque de fond et renfermés dans une calandre.

54 - Evaporateur à plaques : évaporateur constitué par deux plaques entre lesquelles sont ménagés des canaux pour la circulation des deux fluides.

55 - Evaporateur à détente sèche : évaporateur dans lequel le fluide frigorigène s'écoule dans une seule direction de l'entrée vers la sortie et se vaporise complètement lors du parcours.

56 - Evaporateur noyé: évaporateur dans lequel seulement une partie du fluide frigorigène en circulation sur la surface d'échange s'évapore. Le reliquat de liquide est séparé de la vapeur et reste dans l'évaporateur.

F

57 - Fibres creuses : membrane tubulaire en matière synthétique permettant la séparation des gaz de l'air par diffusion à des vitesses différentes en fonction de la taille des molécules d'O_2 et de N_2. Utilisé dans des générateurs d'azote.

58 - Fluide frigorigène : fluide circulant dans une machine frigorifique et absorbant de la chaleur à basse température pour la rejeter à une température plus haute.

59 - Fluide frigoporteur : fluide utilisé pour transférer la chaleur de la chambre à refroidir, à l'évaporateur de la machine frigorifique. L'eau glycolée en est un.

60 - Flux thermique : quantité de chaleur transférée d'un milieu à l'autre pendant l'unité de temps.

61 - Fyrite : appareil portable de mesure chimique de la teneur en O_2 et en CO_2 par augmentation de volume d'une solution spécifique.

H

62 - H.C.F.C. : sigle désignant les hydrochlorofluorocarbones, famille de fluides frigorigènes comme le R22 encore autorisé.

63 - Humidité relative : rapport entre la masse de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air et celle qu'il contiendrait à saturation, exprimé en pour cent.

64 - Hygromètre : appareil destiné à la mesure de l'humidité de l'air.

I

65 - Infrarouge : radiation électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 1 micron et 1 millimètre, utilisé pour la mesure du CO_2 et le contrôle de la qualité de l'isolation par la détection des différences de température.

66 - Isolant : matériau mauvais conducteur de la chaleur contenant un gaz emprisonné dans un grand nombre de petites cellules. Il est léger et sert à ralentir les entrées de chaleur.

67 - Joint : garniture assurant l'étanchéité d'un assemblage.

L

68 - Lampe haloïde : lampe au propane ou au butane dont la flamme devient verte en présence du chlore des CFC et utilisé pour la détection des fuites.

O

71 - Orsat : appareil de laboratoire utilisé pour la mesure de la teneur en O_2 et en CO_2 par un procédé chimique d'absorption dans une solution spécifique.

72 - O_2 : formule chimique de l'oxygène normalement consommé par la respiration des fruits que l'on maintient à une valeur constante dans une chambre A.C.

P

73 - Panneau sandwich intégré : plaque de grande dimension utilisée pour les parois de chambre froide, comprenant une âme isolante, le jambon, enserrés entre deux tôles nervurées, le pain.

74 - Perméabilité : propriété des matériaux de laisser plus ou moins passer les gaz de l'air ou la vapeur d'eau.

75 - Perte de poids : il s'agit principalement de la perte d'eau due au déficit en pression de vapeur, de celle dégagée par la respiration et de la consommation des réserves surtout les sucres.

76 - Point de rosée : température à laquelle l'air humide, en se refroidissant, progressivement arrive à saturation. L'excès d'eau se dégage alors sous forme de rosée, fines gouttelettes d'eau. Les hygromètres basés sur ce principe sont les plus fiables et les plus précis.

77 - Polystyrène : matériau isolant formé de molécules de styrène, très répandu fabriqué par moulage ou en continu de diverses qualités.

78 - Polyuréthanne : matériau isolant très courant obtenu par réaction de deux composants. De très faible conductivité thermique, il peut être fabriqué sur place.

79 - Pression d'évaporation : pression à laquelle le fluide frigorigène passe de l'état de liquide à l'état de vapeur après détente dans l'évaporateur. Elle reste constante, ainsi que la température correspondante tant qu'il y a du liquide et du gaz.

80 - Pression de condensation : pression à laquelle le fluide frigorigène passe de l'état de vapeur à l'état liquide dans le condenseur. Elle reste constante, ainsi que la température tant qu'il y a du liquide et du gaz.

81 - Pressostat : interrupteur commandé par une variation de différence de pression utilisé pour la marche et l'arrêt des compresseurs et des ventilateurs du condenseur, en BP et HP.

82 - P.S.A. : sigle pour Pressure Swing Adsorption, adsorption avec alternance de pression, principe de régénération des générateurs d'azote à tamis moléculaire en carbone.

83 - P.S.I. : sigle pour panneau sandwich intégré, voir ce mot.

84 - Pt 100 et Pt 1000 : sondes de température en platine (Pt) d'une résistance électrique de 100 ohms ou de 1000 ohms, plus précises.

85 - Pull down : littéralement pousser bas, expression américaine pour désigner la descente rapide en oxygène.

86 - P.V.C. : sigle pour polychlorure de vinyl, famille de composés utilisés pour les bâches souples et les tuyauteries rigides des appareils de traitement chimique de l'air.

R

87 - Ratio : rapport entre deux grandeurs permettant de comparer sommairement des matériels comme les évaporateurs avec le ratio de m^2 de surface par m^3 de volume brut de la chambre.

88 - Rayonnement : un des trois modes de transmission de la chaleur par ondes électromagnétiques sans support matériel, cas de la chaleur du soleil sur la terre.

89 - Réfrigération indirecte : système dans lequel un fluide intermédiaire est utilisé entre le fluide frigorigène et le milieu à refroidir. Appelé plus simplement eau glycolée du nom du fluide le plus courant.

90 - Régénération : processus par lequel des charbons actifs d'un adsorbeurs de CO_2 sont épurés de celui-ci par de l'air ambiant.

91 - Régulation : action visant à maintenir constante une grandeur physique ou chimique, température, pression, teneur en O_2... etc.

92 - Régulation de pression d'évaporation : régulateur automatique de débit de fluide frigorigène placé sur la conduite d'aspiration d'une machine frigorifique qui empêche la valeur de pression de descendre en-dessous d'une valeur fixée.

93 - R 12 : réfrigérant 12 ou dichlorodifluorométhane (CCl_2F_2) de la famille des CFC, interdit et présent dans tous les réfrigérateurs et congélateurs ménagers.

94 - R 22 : réfrigérant 22 ou chlorodifluorométhane ($HCClF_2$) de la famille des HCFC, utilisable jusqu'en 2040 dans les installations frigorifiques.

95 - R 717 : réfrigérant 717 ou ammoniac (NH_3) ancien et excellent fluide frigorigène sans danger pour l'environnement, à utiliser avec précaution, toxique et explosible.

S

96 - Séparateur de liquides : réservoir placé sur la conduite d'aspiration d'une machine frigorifique pour éviter l'entraînement de fluide frigorigène liquide au compresseur.

97 - Silicone : famille de composés à base de silicium aux propriétés d'élasticité et d'étanchéité utilisée pour les joints et les barrières d'étanchéité aux gaz.

98 - Siphon : tube recourbé deux fois permettant le passage de substances au travers d'un liquide arrêtant les gaz, d'usage universel dans les W.C., utilisé sur les eaux de dégivrage et la tuyauterie frigorifique.

99 - Sonde à capacitance : élément de mesure de l'humidité par variation de la capacité électrique d'un polymère en équilibre avec l'air ambiant en adsorbant ou désorbant de la vapeur d'eau.

100 - Soupape d'équilibrage : dispositif permettant de limiter les différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur d'une chambre pour éviter de la détériorer.

101 - Sous-refroidissement : abaissement de la température du fluide frigorigène à l'état liquide en-dessous de la température de condensation ce qui améliore le rendement.

102 - Surchauffe : augmentation de la température du fluide frigorigène à l'état gazeux au-dessus de la température d'évaporation permettant d'éviter l'entraînement de liquide à l'aspiration. Base de la régulation des détendeurs thermostatiques.

T

103 - Tamis moléculaire de carbone : carbone finement divisé adsorbant à sa surface beaucoup plus vite les molécules d'O_2 que celle de N_2, séparation qui permet le fonctionnement des générateurs d'azote PSA à tamis moléculaire.

104 - Taux de remplissage : pourcentage de remplissage d'une chambre.

105 - Température de condensation : voir pression de condensation.

106 - Température d'évaporation : voir pression d'évaporation.

107 - Température de point de rosée : voir point de rosée.

108 - Teneur en O_2 et CO_2 : quantité d'O_2 et de CO_2 présente dans une chambre AC exprimée en pourcentage du volume d'air.

109 - Test d'étanchéité : épreuve consistant à soumettre une chambre à une variation de pression pour déterminer son aptitude à faire de l'A.C.

110 - Thermographie infrarouge : méthode de mesure de température par émission infra-rouge utilisée pour contrôler l'efficacité et l'homogénéité d'une isolation, surtout au niveau des joints injectés des P.S.I.

111 - Thermostat : interrupteur commandé par une variation de température servant à réguler la température de la chambre froide.

112 - Tour de refroidissement : appareil de refroidissement d'eau recirculée d'un condenseur à eau, dans lequel le refroidissement s'effectue par évaporation partielle.

U

113 - ULO : initiales de Ultra Low Oxygen, signifiant ultra bas taux d'oxygène, inférieur à 2 %.

ERRATUM

1. Projet d'entrepôt frigorifique

Page 13. Résumé : ajouter 2 lignes en bas de page :
– des teneurs en O_2 et CO_2 spécifiques des variétés
– des durées de conservation escomptées de chaque lot.

Page 14. Résumé : lire : pallox et paroi opposé à l'évaporateur : 0,5 à 0,8 m au lieu de 0,8 à 1 m.

Page 20 et suivantes : les tableaux I, III, IV, V et VI sont de Fontanel, parus dans les numéros de la Revue Pratique du Froid, cités en bibliographie.

Page 24 : le tableau 1.III est un procès-verbal de réception des travaux.

Page 29 : le tableau 1.VII est de Delaunay et Raphel.

Page 31 : § 3, 9e ligne, lire : tableau 1.VIII page 35.

2. L'isolation

Page 46 : § 2, 5e ligne, lire : insolation à la place d'isolation.

Page 48 : le tableau 2.VIII est d'Audiffret.

3. La production de froid

Page 62. Résumé : lire : ammoniac au lieu d'ammoniaque.

Page 72 : § 2, fil rouge, ajouter après compresseurs : identiques. La variation de puissance est obtenue par le nombre.

Page 77 : le tableau 3.V est de Rapin, Pyc Editions, 1976.

Page 88 : dernière ligne, lire : la température **du fluide** en circulation.

Page 98 : dernier §, 3e ligne, ajouter : la ventilation **est dimensionnée pour la puissance maximale de l'évaporateur.** Sa réduction s'obtient...

4. Atmosphère contrôlée

Dans tout le chapitre, lire adsorption à la place d'absorption, cf. glossaire.

Page 109 : tableau 4.I, valeurs de diffusion selon les matériaux, d'après Van Beek, Fruitteelt, 1985.

Page 110 : § 1, dernière ligne, lire : inférieure de 1°C par 15 **minutes.**

Page 118 : la consommation de l'OXYF DUO est de 1 kg de NH_3 par m^3 de O_2.

Page 124 : § 3, 3e ligne, lire : épuration à la place d'évaporation.

Page 126. Résumé : lire : 600 t à 1 % de CO_2 et 600 t à 3 % de CO_2.

Page 129. Résumé : 1re ligne, lire : de l'ordre de 1 à 2 %.

5. Mesures et contrôles

Page 132 : tableau 5.I d'après Billiard, R.G.F. 1986. Ajouter en bas de tableau dans les colonnes :

N°	Capteur	Appareil contrôlé	Analyse
13	Compteur	Compresseur Evaporateur	Durée d'heures de marche

Page 134 : § 2, 5e ligne. Lire : au soufflage de l'évaporateur, l'air est le plus froid. Le centre géométrique du chargement, représentatif en température, est aussi le lieu du prélèvement gazeux.

Page 137 : partie 2, § 1, 4e ligne, supprimer : la figure 5.1 illustre ce fait.

Page 139 : dernière ligne. Le filtre est en aval de l'électrovanne, cf. figure 5.2.

Page 142 : légende de la photo, lire : U.L.O. à la place de V.L.O.

6. Exemples de devis d'installations frigorifiques

Page 146 : partie 3, 3e et 5e ligne, lire : 74 W. m^3 au lieu de 64 fg/h/m^3 et 61 W.m^3 au lieu de 53 fgh/m^3.

Page 154 : tableau de la consommation journalière : au croisement ligne condenseur, colonne DDI, ajouter 4,3.

8. Adresses utiles

Page 161 : AFNOR, tél. (1) 47 78 13 26.

9. Bibliographie

Page 163 : 6e référence, lire : Eyrolles. Avant-dernière ligne, lire : Pyc Editions.

Page 164 : périodiques, 1re référence, lire : Pyc Editions.

10. Glossaire

Page 174 : 16, lire : coefficient de conductivité (λ).

Page 175 : 35, lire : 220 à 250 kg/m^3.

Page 178 : 76, 2e ligne, lire : dépose à la place de dégage.

11 LISTE DES ANNONCEURS

ABSOGER ..... p. 99

ALPES FROID ..... p. 96 IV

BESSELING ..... p. 58

CAUSTIER ..... p. 96 I

DAGARD ..... p. 102

DANFOSS ..... p. 12

DAVID BISHOP ..... p. 172

DAVODEAU LIGONNIERE ..... p. 2 de couverture

FRICAL ..... p. 96 VI

GAZATOM / MPP ..... p. 130

GROUPAMA ..... p. 3 de couverture

LEICHLE ..... p. 96 V

MATAL ..... p. 96 VI

PROFROID INDUSTRIES ..... p. 96 II

SERGEF ..... p. 153

THERMO REFRIGERATION ..... p. 36

YORK FRANCE ..... p. 96 III

Fabrication : J. Granier ***Ctifl***
Photo de couverture : G. Darqué à Paris 46 06 18 84
Illustration : Signature Graphique à Paris 45 26 69 87
Composition - Photogravure : Aquitaine Arts Graphiques à Bordeaux 56 44 43 25
Impression : Compedit - Beauregard à La Ferté-Macé 33 37 08 33
Achevé d'imprimer Novembre 1992
Dépôt légal : n° 201

Nous voyons bien la place qu'occupe votre famille dans la conduite de votre exploitation.

C'est l'avantage de se connaître en voisin. Et d'être un grand spécialiste de l'assurance santé. Au delà de l'assurance de votre exploitation, nous voyons bien à quel point vous êtes attentif aux risques de maladie ou d'accident. C'est la raison de notre démarche personnalisée. Nous établissons ensemble votre plan global d'assurance qui couvre vos biens professionnels et privés, votre santé et celle de votre famille. Une nouvelle preuve que chez Groupama, nous vous connaissons bien et que nous sommes, plus que tout autre, en mesure de mieux comprendre ce qu'il vous faut.

PLAN GLOBAL D'ASSURANCE DE GROUPAMA

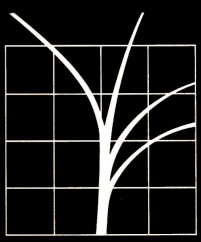
COMPRENDRE CE QU'IL VOUS FAUT C'EST D'ABORD COMPRENDRE QUI VOUS ÊTES

GROUPAMA
ASSURANCES

Dire, c'est tenir.

Pour en savoir plus, interrogez le conseiller Groupama ou tapez 3615 Groupama sur votre minitel.

Ctifl



Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes
22, rue Bergère 75009 Paris. Tél. : (1) 47 70 16 93

Pr 30 €